Science Council of Canada | Conseil des sciences du Canada

A STATEMENT BY THE
SCIENCE COUNCIL OF CANADA

ENABLING TECHNOLOGIES:

Springboard for a Competitive Future

February 1989

Science Council of Canada
100 Metcalfe Street
Ottawa, Canada
K1P 5M1

Catalogue No. SS21-5/1989-1
ISBN No. 0-662-56428-6
© Ministry of Supply and Services, 1989

February 1989

The Honourable William C. Winegard, PC, MP
Minister of State (Science and Technology)
House of Commons
Ottawa, Ontario

Dear Mr Winegard:

In accordance with Section 13 of the Science Council of Canada Act, I am forwarding to you a Council Statement entitled *Enabling Technologies: Springboard for a Competitive Future.*

The views and recommendations contained in the statement have been unanimously agreed to by all members of Council.

Yours sincerely,

Geraldine A. Kenney-Wallace
Chairman
Science Council of Canada

CONTENTS

Statement at a glance 7

Recommendations 8

Introduction 11

National strategies for the enabling technologies 15

Developing technological identities and strategies at the regional and local levels 16

Tuning the support system for developing and applying the enabling technologies 17

Enabling technologies and the Canadian education system 21

Notes 24

Science Council of Canada Committee on Enabling Technologies 26

Science Council of Canada 26

STATEMENT AT A GLANCE

Three major groups of technologies — information and communications technologies, biotechnology, and advanced industrial materials — are revolutionizing industry around the world. These "enabling technologies" are opening up vast arrays of new products and services and transforming production methods in virtually all sectors of the economy.

Mastery of selected areas of these technologies is vital if Canada is to compete successfully on world markets. They are so important the government has designated them as strategic technologies.

In *Enabling Technologies: Springboard for a Competitive Future* the Science Council of Canada urges action on four fronts to promote the development and application of the enabling technologies. It makes the following points:

National strategy: Canadian strategy for technology development has tended to be piecemeal, short term, and not sufficiently related to clear industrial goals. One of Canada's first tasks must be to develop national strategies for the development and application of the enabling technologies; these strategies should focus on goals for the next 10 to 15 years. (Recommendation 1)

Regional development: The enabling technologies could play a crucial role in regional development. Staple-exporting regions, in particular, must recognize the potential contribution of the enabling technologies to their future prosperity. Each region must develop its own "technological identity" focusing on those technologies that could help make local industry more competitive. (Recommendation 2)

Support systems: With certain exceptions Canadian firms have been slower than those in other countries to adopt enabling technologies. Many firms are not aware of the benefits of new technologies, or if they are, lack the knowledge to manage them strategically. Key to speeding up the diffusion of new best-practice technologies is industry self-help. (Recommendations 3, 4, and 5)

Industry self-help is a first step. But the development of sophisticated new products and processes can be stifled by lack of access to design and manufacturing facilities for certain components. This is especially true in the electronics industry, which depends on custom integrated circuits to produce high value-added products and services. Government, industry, and the universities must collaborate to (a) ensure Canadian firms have flexible access to design and manufacturing facilities and (b) help these firms adopt advanced CAD/CAM techniques for circuit design. (Recommendation 6)

Also needed are major projects to drive demand for R&D. In many countries major national aerospace or military programs perform this function. Canada, however, could focus on national projects in areas of civilian technology, for example, pollution and waste control using biotechnology. (Recommendation 7)

Finally, Canada must ensure sufficient funding for precompetitive R&D and early-stage technology companies. The lack of precommercial development capital is a perennial problem for Canadian technology firms, most of which are small. The Science Council proposes restructuring tax shelters for seed, start-up, and development capital. (Recommendation 8)

University-based research and teaching: National capability in the enabling technologies ultimately rests on adequate funding of university research in the myriad disciplines that underpin these technologies. This is essential to build an appropriate knowledge base and to ensure a supply of highly trained graduates for industry. Funding of university research under the Natural Sciences and Engineering Research Council's Strategic Grants Program should be substantially increased. (Recommendation 9)

RECOMMENDATIONS

The Science Council of Canada makes the following recommendations to foster the development and application of the enabling technologies in Canada:

1. *Industry, Science and Technology Canada should act as lead agency, in collaboration with all relevant players, to devise strategies for the generation and industrial application of enabling technologies, including the various information and communications technologies, biotechnology, and advanced industrial materials. Strategies should evolve with realistic, challenging goals for the medium to long term (that is, 10 to 15 years), based on reasonable commitments from all concerned, and with provisions for monitoring progress and revising goals.*

2. *Every Canadian province, region, or metropolitan area should collaborate with all principal players to develop and implement strategies for industrial development that include the application and development of enabling technologies. Such strategies should:*

   - *identify strengths, weaknesses, and institutional gaps regarding enabling technologies;*
   - *foster a local technological identity to focus energy;*
   - *build consensus on goals and means to achieve them;*
   - *establish opportunities for shared facilities such as scale-up plants or laboratories;*
   - *facilitate technology transfer to industry from university and government laboratories.*

3. *Senior management of Canadian firms, industry organizations, financial institutions, and labour organizations should make a point of acquiring enough operational knowledge about the strategic management of technological change to provide effective leadership and vision.*

4. *Every Canadian firm should be vigilant about its technological capability and, where appropriate, upgrade this capability. For small firms, this can mean hiring an engineer, providing training for technical and production personnel, finding ways to send technical personnel to conferences, or establishing ongoing relationships with local centres of expertise. Every firm, where appropriate, should designate a competent person to monitor technological developments of potential significance.*

5. *Canadian industry associations should promote the concept of technological self-help more vigorously among their members. Industry associations should also consider developing appropriate technical service functions for their members. These may range from the employment of technically literate staff to monitor changes in best practice to the establishment of generic or precompetitive R&D facilities. Furthermore, Canadian industry associations should provide educational services designed to increase technical literacy among the senior management of member firms.*

6. *A task force representing government, industry, and the universities should be established to recommend ways to ensure:*

   - *that Canada develops and maintains a strong capability in integrated circuit design and devises ways to ensure the development, acquisition, and use of CAD/CAM and other appropriate equipment and software;*
   - *that Canada investigates ways to maintain reliable access to advanced microelectronics production facilities, and identifies ways to ensure access to a variety of production facilities;*
   - *that the question of domestic merchant chip manufacture is investigated, that the nature and extent of the problem is clearly defined, and that possible solutions are identified;*
   - *that obstacles that prevent Canadian manufacturing firms from adopting microelectronics design techniques and exploiting the opportunities offered by these new design techniques are identified and removed.*

   The task force should comprise representatives from Industry, Science and Technology Canada and other government agencies involved in microelectronics; Canadian trade associations such as the Canadian Advanced Technology Association, the Electrical and Electronic Manufacturers Association of Canada, the Information Technology Association of Canada, and the Canadian Semiconductor Design Association; and universities and teaching organizations such as the Canadian Microelectronics Corporation.

7. *A working group representing major Canadian trade associations and Canadian universities should be established to propose to Industry, Science and Technology Canada a framework for the establishment of a few national projects in enabling technologies. Such measures are required due to the thinness of the Canadian infrastructure for innovative industrial technology.*

8. *The Federal Minister of Finance should form a task force to investigate the current availability in Canada of seed, start-up, and development capital for technology-based companies. This task force should also propose action to ensure that owners and managers of capital in Canada provide the necessary flow of risk capital to small and threshold technology-based companies. One important action would be to restructure tax shelters so as to increase the relative attractiveness of investments in technology ventures.*

9. *Allocations to university research in enabling technologies under the Strategic Grants Program of the Natural Sciences and Engineering Research Council should be increased from the present $32 million to $120 million a year by 1992. In addition, provincial and federal governments must address universities' needs for significant additional funding for graduate student support and equipment procurement.*

INTRODUCTION

In Canada, as in most other industrialized countries, a great deal of contemporary science and technology policy discussion concerns ways to develop indigenous knowledge-intensive industries and improve the technological capacity of traditional and service industries. Practically all Canada's competitors have set their sights on these general objectives and have devised strategies to attain them.

Much attention focuses on three groups of technologies: information and communications technology, biotechnology, and advanced industrial materials. These three groups of technologies are referred to as "enabling" technologies, groups of technologies that already or will eventually have an impact on a multitude of products, processes, and services across a wide spectrum of industries — not merely the most advanced ones. In other words, these technologies will deeply penetrate and restructure the economy, national as well as international.

Information and communications technologies, biotechnology, and advanced industrial materials form the core of a new international industrial system. The emergence of this system poses a dual competitive threat to smaller industrialized countries such as Canada. On the one hand, in newly emerging and technologically dynamic industries, mushrooming costs and the escalating complexity of advanced technologies mean that markets are increasingly dominated by larger industrialized countries able to sustain long-term investments, absorb very high learning costs and risks, and benefit from economies of scale. On the other hand, mature industries based on more easily-mastered technologies are emigrating to newly-industrializing countries. Smaller industrialized countries such as Canada therefore find themselves squeezed by the industrial superpowers, which dominate most advanced technologies, and by those newcomers that can master mature technologies and establish themselves through competition initially based on lower wages.

Enabling technologies: what they are, why they are important

The enabling technologies consist of three major groups of technologies: information and communications technologies, biotechnology, and advanced industrial materials.

Information and communications technologies are products and processes involving the collection, transmission, and manipulation of information, including voice, text, and images. Integrated circuits and software are the two basic ingredients of all information and communications technologies.

By far the most complex objects made by human beings, integrated circuits are miniaturized electronic circuits combining hundreds of thousands of components (and therefore many functions) on a thumbnail-sized chip of semiconducting material such as silicon. Fabrication of integrated circuits requires the ability to etch features and deposit layers of one micron or less, that is, down to a few hundred atoms thick.

Contemporary integrated circuits perform the functions that required hundreds of thousands of discrete vacuum tubes or transistors only two decades ago. And circuit density and complexity continue to increase at an astounding rate. Within 10 years, integrated circuits will contain several million active devices.

Integrated circuits fall into two main groups. The first group consists of "commodity chips," general-purpose memory or microprocessor circuits that have a standard design and are mass produced. The second group is composed of application-specific integrated circuits (ASICs), circuits that are custom-made for specific applications and have high added value. Both kinds must be either purchased or fabricated by manufacturers of electronic end-products.

Software is the set of rules and data that direct the operations of computer and communications systems. With the decline in the unit costs of key hardware components such as integrated circuits and memory, software has increased its relative share of the overall costs of a software-using electronic system. Software now accounts for 60-80 per cent of the total. The cost of software reflects its labour-intensive craft production methods. However, the use of computers and various knowledge processing systems to develop software (as in computer-aided software engineering) will increase productivity and reliability in the area of software production.

Endless and increasingly complex combinations of software and integrated circuits give rise to a multitude of applications and products. Information and communications technologies, already present in every sector of the economy, will become more pervasive in coming years.

Biotechnology is a scientific and engineering activity that manipulates biological agents to produce new or improved goods and services. Biotechnology's multidisciplinary nature encompasses a range of techniques dealing with recombinant DNA, cell fusion, plant and animal cell cloning, monoclonal antibodies, tissue culture, and bioprocess engineering. Biotechnology has its roots in the processes that have been used for millennia to produce bread, beer, cheese, and other products. What distinguishes the new biotechnology, and gives it its revolutionary character, is the enormous expansion of our power to manipulate biological agents through the transfer, modification, and control of genetic material.

Biotechnology presents a vast range of potential commercial opportunities. The first efforts to develop commercial applications of biotechnology targeted the health care sector. However, a much more diverse group of established industries — chemicals, food processing, pharmaceuticals, pulp and paper, mining, equipment and instruments, agriculture, forestry, and waste-processing — is now active in biotechnology.

Biotechnology will have a profound effect on Canadian industry. Its impact is already apparent in the Canadian health care industry, where it is being used in diagnostic and therapeutic pharmaceuticals. In the traditional industries of agriculture, food processing, forestry, and mining, biotechnology promises greater efficiency and many new or improved

products and processes. It could also greatly expand commercial opportunities in pollution control and toxic waste treatment. Novel plant and animal varieties, fertilizers, pest and disease control methods, growth hormones, and waste control methods can be expected from biotechnology in coming years. However, Canada's substantial export markets for many of its natural resources could be seriously affected if Canadian producers are not innovative in this area of enabling technology.

Advanced industrial materials are a broad group of synthetic, high-performance materials ranging from metals, ceramics, and polymers to semiconductors and composites. Recent advances in the understanding of the structure of matter, in computer-based modelling and simulation techniques, and in processing technology have made it possible to develop a material atom by atom to fill a specified need. Materials so designed display unique, intentional structural or functional properties. Advanced industrial materials (AIMs) will have a major impact on information, communications, and energy technologies, on the transportation industries, and on medicine, manufacturing, and construction.

AIMs extend the performance of existing systems or make new kinds of systems possible. Increasingly they are used to improve the performance of components and systems by replacing or improving structural parts previously made of conventional materials such as wood, steel, copper, aluminum, and concrete. AIMs also provide improved functional features such as resistance to corrosion, semiconductivity, or superconductivity.

New alloys, polymers, ceramics, and composites are increasingly being used in automobiles and aircraft. For example, high-temperature alloys appear in aircraft engines, while super-hard, corrosion-resistant and very light structural alloys are also available. Specialty steels have been designed with few defects and superior mechanical properties such as formability or weldability. Advanced polymers provide an incredibly wide variety of properties, such as special strength, toughness, stability, light weight, conductivity, permeability, or biocompatibility, all of which open up entirely new avenues for innovation.

Advanced ceramics may display properties of hardness, strength, biocompatibility, inertness, low density, abrasiveness; resistance to heat, wear, and corrosion; or other electrical, magnetic, optical, biological, or nuclear properties. Characteristics of composites can include strength, stiffness, toughness, resistance to corrosion, or ease of manufacture.

Some new materials, such as plastics for structural applications, are competitive with metals and other materials because they are easier or cheaper to form and process. Moreover, the wide variety of techniques for producing and processing AIMs (for instance, moulding, forming, chemical vapour deposition, and the use of metal powders) is transforming the market for both design and production equipment in manufacturing.

The economic and social consequences of the new biotechnologies and advanced industrial materials are not yet widely visible. However, the myriad applications of information technology have already induced fundamental changes in the organization and management of vast areas of economic and social life. The information technologies are characterized by extremely rapid change that not only multiplies their performance characteristics and range of applications but also vastly increases the complexity of production methods. As a consequence, many potential producers of the new technologies face formidable entry barriers. Moreover, organizations and individuals will need to be much more flexible and forward-looking to cope with rapidly changing designs, models, products, and processes. Flexibility and foresight will be reflected in the greater quality and quantity of goods and services offered, in attitudes toward innovation, risk, and investment, and in the way organizations are managed. In time, substantial savings in energy and materials will be realized as electromechanical components are reduced and custom-designed materials with particular structural or functional characteristics are introduced.

Many observers doubt that the Canadian economy can sustain our high standard of living into the next century. Past Canadian success in sustaining internationally competitive industry has often hinged on the availability of raw materials. In a number of industries that form the backbone of the Canadian manufacturing sector — textiles, automobiles, steel, rubber, heavy chemicals, and forest products — worldwide competition has increased dramatically in the last two decades, and this trend will certainly continue. Furthermore, the Canadian resource sector can expect greatly increased competition from other raw materials-exporting countries as well as from new science-based materials that are emerging from laboratories.

Future success will be determined to a great extent by Canada's ability to shape its comparative advantages — to develop and sustain a variety of scientific, technical, managerial, political, and social skills and to marshal them to achieve social and economic objectives. Knowledge-intensive industrialization requires that we develop our capability to select and use many of the enabling technologies in a timely and effective manner to produce internationally tradeable goods and services. Recognizing the importance of information and communications technologies, biotechnology, and advanced industrial materials, the government of Canada has designated them as strategic.

In related publications on the development of industrial technology, the role of the universities in economic renewal, and the environmental impact of science and technology, the Science Council of Canada addressed several issues central to enabling technologies in Canada.[1] In this statement, the Science Council addresses the following key issues:

- How adequate is Canada's strategic posture with respect to the development of capability in the enabling technologies?
- How should regions determine priorities for the development of capability in selected technologies?
- How do we ensure a suitable support system for developing and applying the enabling technologies?
- What resources are required to develop the knowledge base upon which capability in enabling technologies must rest?

NATIONAL STRATEGIES FOR THE ENABLING TECHNOLOGIES

Canada has been slow to develop strategy for the enabling technologies. What technology strategy it does have relates in only a general way to broader objectives for industrial development. For the most part, technological innovation has been a subordinate theme within an implicit industrial policy aimed largely at regional redistribution of wealth or in a small way determined by military considerations. As a consequence, Canadian strategy for industrial renewal has not been as forceful or as imaginative as it might have been. Only recently has strategy for advanced technology aimed at industrial renewal and restructuring become more vigorous, focusing on the development of scientific and technical infrastructure in the public sector, the general orientation of publicly-financed R&D, and the use of various incentives to stimulate the performance of industrial R&D. With the partial exceptions of defence, atomic energy research, and the National Research Council's Industrial Research Assistance Program, Canada has developed few substantial industry-driven efforts targeted on particular enabling technologies.

In Canada none of the three enabling technologies is currently the object of a proactive approach linking strategy for technology and strategy for industry in the pursuit of clearly-identified goals. In the information and communications technologies, a multitude of programs and agencies provides a range of incentives with little in the way of strategy to link or guide them. The Federal Microelectronics Strategy, a well-received but relatively modest program, long overdue and finally announced in 1987, is certainly an important initiative by the former Department of Regional Industrial Expansion, an agency in which concern for technological innovation has historically taken a back seat to other concerns. In advanced industrial materials, despite work by the Science Council and the former Ministry of State for Science and Technology among others, there is still no explicit strategy for developing indigenous innovation capabilities. As for biotechnology, Canada had a strategy designed primarily to reinforce research in the public sector and to establish public-sector research linkages with industry. But the strategy, which has lapsed, was unrelated to any but the most general industrial goals.

In recent years Canada has shown signs that it may be developing a sense of national commitment and purpose with respect to science and technology. For the first time the federal government has integrated responsibility for science and technology with responsibility for industry under one department: Industry, Science and Technology Canada (ISTC), whose creation was announced in August 1987.[2] It may now be possible to elaborate strategy for enabling technologies within the context of a more general strategy for industrial development. ISTC will focus primarily on industrial revitalization, promoting innovation and enabling technologies, while phasing out subsidies and grants for industries that are unlikely to become competitive.

In addition, the government recently announced the establishment of the Strategic Technology Alliance Program, which will invest about two hundred million dollars in strategic alliances during the next four years. The program specifically targets biotechnology, information and communications technologies, and advanced industrial materials. One component of the program will promote precompetitive R&D in industry-led consortia, while the other will encourage alliances to develop applications of the enabling technologies. The Science Council applauds these initiatives. It recommends that:

1. *Industry, Science and Technology Canada should act as lead agency, in collaboration with all relevant players, to devise strategies for the generation and industrial application of enabling technologies, including the various information and communications technologies, biotechnology, and advanced industrial materials. Strategies should evolve with realistic, challenging goals for the medium to long term (that is, 10 to 15 years), based on reasonable commitments from all concerned, and with provisions for monitoring progress and revising goals.*

DEVELOPING TECHNOLOGICAL IDENTITIES AND STRATEGIES AT THE REGIONAL AND LOCAL LEVELS

Enabling technologies could play a significant role in the development of regions, subregions, provinces, or metropolitan areas. Each of these would benefit from fostering capability in enabling technologies that would enhance local industrial development or in which it could reasonably hope to develop an advantage. But there are obstacles.

Regional development is often interpreted as being limited, exclusively and by definition, to the application of mature technologies in the resource sector; staple-exporting regions, located far from the country's major centres of manufacturing and R&D, tend to assume that advanced technologies have little to do with their future. A recent study of innovation policy in the western provinces comments on the difficulty of mobilizing support for new industry in the resource regions and attributes this to a variety of geographic and economic influences on the day-to-day thinking of executives leading these industries.[3] Similarly, a recent study of technology in the Canadian forest-product industry identifies the export-staples mentality as a significant constraint on innovation among Canadian forest-product firms and the firms that supply their equipment.[4]

To provide a receptive and stimulating environment for adopting and developing enabling technologies, each region or locality must develop the forms of leadership and infrastructure — strategies, support networks, enterprise clubs, and so forth — that foster innovation and economic renewal. In addition, care should be taken to develop the technical and financial infrastructure needed to improve and sustain innovative industrial activity. Such an infrastructure includes technical and design services, scale-up facilities, equipment and prototype builders, consulting and other business services, technical training and retraining services, and local investment funds.

Regional or municipal strategic planning needs to reflect a vision of what a locality wishes to become and what it is willing to do to get there. This vision is essential in mobilizing support around specific projects and in building a "technological identity" that reflects a locality's understanding of its specific strengths and areas of opportunity. Consider two recent examples of such vision. The Science Council of British Columbia, in a report on the information technology industry in that province, suggested that information technologies be aggressively applied in the province's primary resource industries, and proposed a number of local means and goals in this respect.[5] Similarly, a proposed science and technology strategy for the Quebec City region published by the Conseil de la science et de la technologie identified a number of priorities for technological development (including biomedicine, biomass, and optics and lasers) and suggested goals and means to attain them.[6]

Each of these cases represents a proposed regional "technological identity" that builds on existing strengths and provides the focus needed to generate commitment and mobilize local support. In each case, energy has been focused and consensus built through local leadership.

The Science Council recommends that:

2. *Every Canadian province, region, or metropolitan area should collaborate with all principal players to develop and implement strategies for industrial development that include the application and development of enabling technologies. Such strategies should:*

   - *identify strengths, weaknesses, and institutional gaps regarding enabling technologies;*
   - *foster a local technological identity to focus energy;*
   - *build consensus on goals and means to achieve them;*
   - *establish opportunities for shared facilities such as scale-up plants or laboratories;*
   - *facilitate technology transfer to industry from university and government laboratories.*

TUNING THE SUPPORT SYSTEM FOR DEVELOPING AND APPLYING THE ENABLING TECHNOLOGIES

A role for industry

Microelectronics-based products and processes are the heart of information and communications technologies. Diffusion of the vast array of these products and processes throughout all industrial sectors is central to better economic performance. The Canadian service and manufacturing sectors, however, have been slower than those in other industrialized countries to adopt microelectronics-based technology. Moreover, within Canada, domestic firms have trailed foreign-controlled firms in adopting innovations in microelectronics, but the rate of diffusion appears to have increased in the 1980s. With the exception of industrial robots, Canada now compares favourably with some major European countries in its uptake of some microelectronics-based manufacturing technologies.

The introduction of computer-integrated manufacturing requires corporate-wide strategic planning led by senior management. The Canadian CAD/CAM Council for the Advancement of Computer Integrated Manufacturing points out that companies have too often treated manufacturing decisions in an ad hoc way, leaving decisions about technology to the production department. This approach is no longer adequate because "unlike traditional applications of computers in business, computer-integrated manufacturing's strategic nature requires a direct and ongoing involvement of top management in the process."[7]

The Science Council recommends that:

3. *Senior management of Canadian firms, industry organizations, financial institutions, and labour organizations should make a point of acquiring enough operational knowledge about the strategic management of technological change to provide effective leadership and vision.*

In Canada, small manufacturing firms trail larger firms in adopting advanced manufacturing technology. Reasons include the fact that small firms lack knowledge and appreciation of the technologies most appropriate to their operations, they are less able to undertake feasibility or cost justification studies, and they lack trained personnel and funds for investing in new technologies. The advent of complex and costly microelectronics-based manufacturing technologies may significantly affect the mix of manufacturing firms in Canada, with smaller, laggard companies suffering the same fate as the family farm.

To develop and improve their in-house technical culture, small firms, either individually or collectively, must define their needs and make these known to local training and research organizations. Local self-help organizations, chambers of commerce, and dynamic business associations should encourage small firms to develop a flexible in-house technical culture of sufficient breadth and depth to permit productive exchange with established centres of R&D in universities, colleges, or government laboratories.

The Science Council urges:

4. *Every Canadian firm to be vigilant about its technological capability and, where appropriate, to upgrade this capability. For small firms, this can mean hiring an engineer, providing training for technical and production personnel, finding ways to send technical personnel to conferences, or establishing ongoing relationships with local centres of expertise. Every firm, where appropriate, should designate a competent person to monitor technological developments of potential significance.*

Canadian industry associations could play a key role in helping their members develop advanced technological capability and the capacity to manage technological change.[8] They can disseminate information and provide training and consultation regarding best-practice technology. They should also consider the appropriateness of establishing technology services or facilities for performing precompetitive or generic R&D for members. Some Canadian industry associations or other types of association among firms have developed generic R&D capabilities and other forms

of technological self-help and educational services (examples are the Welding Institute of Canada, the Canadian Advanced Technology Association, and the Canadian Plastics Institute). Furthermore, some groups, notably the Canadian Advanced Industrial Materials Forum and the Canadian Manufacturing Advanced Technology Exchange, have recently been established to carry out technological networking among firms. However, despite promising changes on the part of some associations, most Canadian trade associations are still principally oriented toward lobbying and public relations: few define their responsibilities to include fostering technological self-help.[9]

The Science Council recommends that:

5. *Canadian industry associations should promote the concept of technological self-help more vigorously among their members. Industry associations should also consider developing appropriate technical service functions for their members. These may range from the employment of technically literate staff to monitor changes in best practice to the establishment of generic or precompetitive R&D facilities. Furthermore, Canadian industry associations should provide educational services designed to increase technical literacy among the senior management of member firms.*

Developing Infrastructure

Canada lacks key national facilities in some areas of enabling technologies. A potentially debilitating weakness in the Canadian technological infrastructure is in the area of integrated circuit design and manufacture. Access to state-of-the-art integrated circuits will be an increasingly critical factor in the competitiveness of the many firms that must compete by incorporating innovative electronics components into products. Competitive product and process innovations will rely on the use of custom chips (known as application-specific integrated circuits, or ASICs), which encapsulate specialized knowledge in their design — the innovative, value-added portion of this product. A central policy question is how actively a country must produce advanced components, such as custom chips for information and communications technology systems, in order to maximize the diffusion of these components throughout domestic industry.[10]

There are three distinct aspects to the general problem of Canadian competitiveness in advanced integrated circuits. The first involves developing and sustaining the capability to design the circuits. This requires access to state-of-the-art computer-aided-design (CAD), computer-aided manufacturing (CAM), and computer-aided software-engineering equipment. Up-to-date equipment and software are indispensable and must be made more widely available in teaching, research, and technical service institutions. Moreover, much more consistent attention should be paid to developing the design skills of engineers and technical personnel. Governments and industry must make a long-term commitment to sustain and develop this critical group of skills in Canada.

The second aspect concerns circuit manufacture. Although several firms in Canada offer custom circuit design and fabrication services, designs must be sent out of the country for manufacture, risking arbitrarily long turn-around times and possible reverse-engineering by competitors. A key question for Canada concerns the strategic importance to the Canadian electronics industry of a domestic "merchant" chip manufacturer, that is, one that can manufacture custom chips for customers. Options for the establishment of one must be explored. Furthermore, flexible access to foreign production facilities must be ensured.

The third aspect pertains to the development of circuit design skills among Canadian manufacturing firms. Most firms that do not have experience in circuit design are reluctant to develop these skills in-house. However, they are then unable to exploit the considerable opportunities opened up by the new design techniques. Greater efforts must be made to help Canadian manufacturers overcome the obstacles to adopting advanced circuit design techniques.

In light of the above considerations, the Science Council recommends that:

6. *A task force representing government,*

industry, and the universities should be established to recommend ways to ensure:

- *that Canada develops and maintains a strong capability in integrated circuit design and devises ways to ensure the development, acquisition, and use of CAD/CAM and other appropriate equipment and software;*
- *that Canada investigates ways to maintain reliable access to advanced microelectronics production facilities, and identifies ways to ensure access to a variety of production facilities;*
- *that the question of domestic merchant chip manufacture is investigated, that the nature and extent of the problem is clearly defined, and that possible solutions are identified;*
- *that obstacles that prevent Canadian manufacturing firms from adopting microelectronics design techniques and exploiting the opportunities offered by these new design techniques are identified and removed*

The task force should comprise representatives from Industry, Science and Technology Canada and other government agencies involved in microelectronics; Canadian trade associations such as the Canadian Advanced Technology Association, the Electrical and Electronic Manufacturers Association of Canada, the Information Technology Association of Canada, and the Canadian Semiconductor Design Association; and universities and teaching organizations such as the Canadian Microelectronics Corporation.

National projects

In many countries, capability in the enabling technologies has been sustained by major national aerospace or military programs that drive demand for advanced technological capability. An analogous arrangement is the project or consortium in which players collaborate in precompetitive research. Canada must find the equivalent of these major drivers of other countries' R&D efforts.

In Canada, many players favour the development of world-class technological capability in a few highly focused areas by means of a concerted national effort on the part of governments, companies, and universities. Such an effort could take the form of a "national project" in a few areas of civilian technology. It would have to be appropriate to Canadian resources and abilities and offer a reasonable opportunity for Canada to develop comparative advantage. For example, pollution and waste control using biotechnology are potentially lucrative areas upon which an environmental industry could be built with government help in developing the technology. In a related statement,[11] the Science Council recommended the establishment of major projects as drivers of such development. In this statement, the Science Council recommends that:

7. *A working group representing major Canadian trade associations and Canadian universities should be established to propose to Industry, Science and Technology Canada a framework for the establishment of a few national projects in enabling technologies. Such measures are required due to the thinness of the Canadian infrastructure for innovative industrial technology.*

Financing precompetitive R&D and early-stage technology firms

A perennial problem for Canadian technology firms is the availability of capital. The precommercial development phase constitutes a barrier for small technology-based firms. Many observers of the Canadian biotechnology scene, for instance, report a shortage of pre-venture capital to bridge the gap from the time that a firm completes research on a promising technology, or receives a transferred technology, to the time that it can commercialize the resulting processes or products. The precommercial development phase often involves expensive scale-up activities and demonstrations of the technical viability of a project at near-commercial levels of production. The National Biotechnology Advisory Committee has recommended that a special seed capital program be established to alleviate this problem, and other organizations have made similar recommendations with regard to other industries. The recently-announced (October 1988) ISTC program to encourage technology application partnerships should help alleviate the

problem of precompetitive development in Canada.

Canada's venture capital industry has boomed in recent years, thanks to the clarification of tax rules regarding limited partnerships and investments in foreign securities. New rules give venture capitalists much greater access to large institutional investors and pension funds. Unfortunately, institutional money is not attracted to start-up technology-based enterprises. In terms of the number of investments and in terms of the amounts invested, technology-based investing declined in Canada between 1985 and 1986. Furthermore, technology-based investments shifted away from early-stage companies to more mature companies. On the whole, the Canadian venture capital industry is less inclined than is the American venture capital industry to invest in technology-based firms.[12] Moreover, as the recent Science Council workshop on financing scientific and technological innovation in industry made clear, funding for start-up technology firms in Canada has virtually dried up.[13]

The (Ontario) Premier's Council has made a number of observations and recommendations regarding the availability of venture financing that bear repeating here. For example, it recommended that government aim at increasing early-stage venture capital. This could be accomplished by providing tax exemptions for investments in a special class of early-stage venture capital funds in which part would be reserved for seed capital investments. The fund would only be available to firms "committed to maintaining significant production, R&D, and a head office presence in Ontario." The Premier's Council also recommended a special incremental tax incentive for investors in designated start-up firms. Other possible measures were proposed to increase the flow of pension fund investments into early-stage investments.[14]

The Science Council recommends that:

8. *The Federal Minister of Finance should form a task force to investigate the current availability in Canada of seed, start-up, and development capital for technology-based companies. This task force should also propose action to ensure that owners and managers of capital in Canada provide the necessary flow of risk capital to small and threshold technology-based companies. One important action would be to restructure tax shelters so as to increase the relative attractiveness of investments in technology ventures.*

ENABLING TECHNOLOGIES AND THE CANADIAN EDUCATION SYSTEM

High-quality education and training are key vectors for diffusing the wide variety of skills needed to make and use technology throughout the population. Science and technology education must be of the highest quality at *all* levels of the education system in order to attract bright minds to scientific and technical careers.

Higher education and basic research

A vigorous and inventive technological community is linked in many ways to a vigorous and stimulating intellectual climate in the universities and technical schools. Although Canadian universities have a history of excellence in several research areas, including biomedical and electronics research, Canada's ability to nurture its skill-intensive, high-technology industries could be severely limited by the increasing fragility of the research base in the universities, a fragility that will have unfortunate effects on the quality of graduates.

The chronic financial constraints on universities and university research in Canada are severely hindering the development of Canadian capability in critical areas of enabling technology. A Science Council survey of more than 300 leading engineers and scientists in business, universities, and government found that the majority consider the state of Canadian university research in areas of advanced technology to be inadequate: 54 per cent in information and communications technologies, 73 per cent in biotechnology, and 70 per cent in advanced industrial materials.[15]

The calamitous effects on Canadian science of underfunding the universities cannot be remedied by selectively funding a few areas of applied technological research. The enabling technologies have close links to basic science. Biotechnology draws on molecular biology, cell biology, enzymology, immunology, virology, organic chemistry, biochemistry, computer science, and chemical engineering and other basic sciences. Optoelectronics research needs the disciplines of surface chemistry, electronics engineering, and physics. Semiconductor research calls on electrical engineering, surface science, solid-state physics, metallurgy, computer science and instrumentation, plasma chemistry, fluid dynamics, vacuum science, and materials science. Information technologies are rooted in physics, operations research, electrical engineering, mathematics, computer science, linguistics, psychology, and optics. Materials science includes contributions from mechanical, chemical, and electrical engineering, physics, surface science, chemistry, computer science, metallurgy, thermodynamics, and polymer chemistry.

Furthermore, the enabling technologies are not simple bodies of knowledge that can be easily circumscribed and reproduced. They are instead related to rapidly advancing scientific research fronts that affect a great variety of disciplines and that are propelled by sophisticated techniques of measurement, analysis, and control. In many cases they require sophisticated microelectronics-based instrumentation.

An anaemic scientific community is a poor stem on which to graft a few high-flying, well-funded research endeavours. The point is that broad, stable, and sustained funding is needed to support Canadian university research teams on the leading edge of the sciences that contribute to the enabling technologies.

The Science Council's recent consultations have made clear that few knowledgeable observers expect direct technology payoffs from universities. And, contrary to conventional wisdom, high-technology businesses do not always wish to see universities attempting to perform applied research. The primary expectation from universities is that they produce competent graduates and develop the general scientific knowledge base upon which industrial firms can draw. Providing specific technical assistance to firms is an important but ancillary function of universities. To deliver any of these three services — highly-skilled graduates, a scientific knowledge base, and technical support — in fast-moving areas of science and technology, universities must maintain a competitive

level of research and teaching activity. Universities cannot be expected to have market-specific knowledge nor be as effective in application-specific research as firms.

Canada invests too little in basic university research in strategic areas of the enabling technologies. The Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) has a Strategic Grants Program that is Canada's principal policy instrument for targeting resources for university research. In 1986-87, priorities were biotechnology, communications and computers, energy, environmental toxicology, food and agriculture, industrial materials and processes, and oceans. Five hundred and thirty-one strategic grants, with budgets totalling about $32 million, were awarded that year.

The relatively small sum invested by NSERC in strategic (targeted) university research has increased the amount of research carried out in these areas by 30-40 per cent. However, a recent review of the Strategic Grants Program found the success rate of grant applications to this program to be very low — only 33 per cent.[16] Moreover, the Strategic Grants Program has had only a minor impact on the availability and quality of equipment and on the number of graduate students studying in strategic areas. At present, only well-established university researchers can count on regular research support. The uncompetitive level of research support in Canada is a prime reason why young university researchers in areas of enabling technology leave the country.

Adequately funding just a handful of relatively well-defined research areas in each of the three groups of enabling technologies could easily absorb a substantial fraction of the funds that NSERC distributes among all areas of natural science and engineering. Estimates produced for the Science Council indicate that a strategy of developing competitive university research in just four areas in each group of enabling technologies could cost upwards of $120 million annually.[17] This sum represents more than a quadrupling of current levels of expenditure by NSERC on research judged to be of strategic importance. A workshop hosted by the Science Council in January 1988 and designed to assist NSERC in orienting its Strategic Grants Program confirmed the necessity of such a major increase in the Canadian university research effort in areas of enabling technologies.[18]

Based on the results of the workshop, the Science Council recommended to the federal government, and now reiterates its recommendation, that:

9. *Allocations to university research in enabling technologies under the Strategic Grants Program of the Natural Sciences and Engineering Research Council should be increased from the present $32 million to $120 million a year by 1992. In addition, provincial and federal governments must address universities' needs for significant additional funding for graduate student support and equipment procurement.*

Scientific and technical education in the elementary and secondary schools

A stronger university research base will help improve the quality and numbers of science and engineering graduates entering the work force or staying on to do postgraduate work. But it is not enough. High quality scientific and technical education must begin in the elementary and secondary schools, for it is here that young people can begin to be attracted to careers in science or turned away completely. Canada's lack of a "science culture" is in many ways linked to the impoverishment of scientific and technical education in this country.[19] School boards and provincial governments are ultimately responsible for the quality and status of scientific and technical education in Canada.

* * *

This statement has addressed a variety of issues regarding enabling technologies in Canada:

How adequate is Canada's national strategic posture with respect to enabling technologies? There has been some evidence of progress in Canada in recent years, but little evidence of a vigorous national strategy or significant commitment with respect to the enabling

technologies. Clear goals, defined in close association with stakeholders, are necessary, as are much more vigorous efforts to attain them.

How should regional priorities be determined? Canada does not possess the resources to mount an across-the-board challenge in all areas of enabling technologies. Focus and concerted action are called for. The emergence in Canada of a bottom-up regional strategic planning effort within a national framework is a positive development. However, greater and more widespread efforts are required if the momentum is to be sustained.

How should Canada ensure a more effective support system for developing and diffusing the enabling technologies? The Science Council advocates action on several fronts to strengthen this system: industry self-help in adopting best-practice technologies; better facilities for the design and manufacture of custom integrated circuits; major civilian projects to drive the development of enabling technologies; and adjustment of the tax system to ensure adequate early-stage financing for technology-based firms.

Is Canada investing enough to develop the knowledge base upon which capability in enabling technologies must rest? Enabling technologies are usually very closely linked to science. The Science Council is gravely concerned that the knowledge base in Canadian universities is being stunted through inadequate resources devoted to teaching and research in the disciplines that drive the science side of the enabling technologies. The Science Council of Canada is issuing an urgent call for a substantial increase in the funding of university teaching and research, particularly in these disciplines.

NOTES

1. See Science Council of Canada, *Winning in a World Economy: University-Industry Interaction and Economic Renewal in Canada*, Report 39 (Ottawa: Supply and Services Canada, 1988); Science Council of Canada, *Gearing Up for Global Markets: From Industry Challenge to Industry Commitment* (Ottawa, 1988); and Science Council of Canada, *Environmental Peacekeepers: Science, Technology, and Sustainable Development in Canada* (Ottawa, 1988).

2. Industry, Science and Technology Canada will comprise the former Department of Regional Industrial Expansion and Ministry of State for Science and Technology.

3. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), *Innovation Policy: Western Provinces of Canada* (Paris, 1988), 48-49.

4. R. Hayter, *Technology and the Canadian Forest-Product Industries*, Science Council of Canada, Background Study 54 (Ottawa: Supply and Services Canada, 1988), 99-100.

5. *The Information Technology Industry in British Columbia. A Report from the Information Technology Sector Planning Committee of the Science Council of British Columbia* (Burnaby, B.C.: Science Council of British Columbia, 1988), chapters 6 and 7.

6. Conseil de la science et de la technologie, *Bilan de l'activité scientifique et technologique de la région de Québec* (Ste-Foy, Québec, 1988), chapter 4.

7. Canadian CAD/CAM Council for the Advancement of Computer Integrated Manufacturing, *Management in Crisis: Implementing Computer Integrated Manufacturing in Canada* (Ottawa: Department of Regional Industrial Expansion, 1986), 2.

8. In a related statement concerning strategy for advanced industrial technology in Canada, the Science Council emphasized the need to improve the technology management skills of senior management in Canadian firms. See, Science Council of Canada, *Gearing Up for Global Markets: From Industry Challenge to Industry Commitment* (Ottawa, 1988), 12-13.

9. I. Litvak, *Canadian Trade Associations and the Promotion and Diffusion of Innovation*, Department of Regional Industrial Expansion (DRIE), Technological Innovation Studies Program Research Report 100 (Ottawa: DRIE, 1985), 58-59.

10. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), *Information and Communications Technologies for Economic Development*, prepared by OECD, Committee for Information, Computer and Communications Policy (Paris, 1987), 8.

11. Science Council of Canada, *Gearing Up for Global Markets: From Industry Challenge to Industry Commitment* (Ottawa, 1988), 17-18.

12. M. Macdonald, *Venture Capital in Canada: an Overview* (Ottawa: Investment Canada, 1987), 21.

13. The Science Council's workshop "Bridging the Gap: Financing Scientific and Technological Innovation in Industry" was held in Toronto on 24 and 25 November 1988.

14. Premier's Council (of Ontario), *Competing in the New Global Economy* (Toronto: Queen's Printer, 1988), 183-185.

15. C. Davis, *Enabling technologies in Canada: status and issues*, unpublished paper prepared for the Science Council of Canada, 1988.

16. The DPA Group, Inc., *Evaluation of the NSERC Strategic Grants Program*, unpublished draft report prepared for the Natural Sciences and Engineering Research Council, 1987, 5-38.

17. For precise figures see C. Davis, op. cit.

18. See *Priority Topics for Strategic Grants Research*, unpublished paper prepared by the Science Council of Canada, 1988, chapter 4.

19. The Science Council of Canada has addressed some of these issues in *Science for Every Student: Educating Canadians for Tomorrow's World*, Report 36 (Ottawa: Supply and Services Canada, 1984).

SCIENCE COUNCIL OF CANADA COMMITTEE ON ENABLING TECHNOLOGIES

Members of the Science Council
Simon J.S.W. Curry, Chairman
Gerald B. Dyer
Gordon Gow
Jennifer M. Sturgess

External Members
Albert Friesen
President
ABI Biotechnology Inc.
Winnipeg, Manitoba

Peter McGeer
Director
Ontario Centre for Materials Research
Kingston, Ontario

Member and project officer
Charles H. Davis

SCIENCE COUNCIL OF CANADA
(As of September 1988)

Chairman
Geraldine A. Kenney-Wallace, LRIC, MSc, PhD, MRSC

Vice-Chairman
Vaira Vikis-Freibergs, BA, MA, PhD
Professeure
Département de psychologie
Université de Montréal
Montréal (Québec)

Members
John Anderson, PhD
Vice-President, Operations
Atlantic Salmon Federation
St. Andrews, New Brunswick

Norman L. Arrison, BSc, MSc, PhD, PEng
Arrison Consultants
Red Deer, Alberta

Morrel P. Bachynski, BEng, MSc, PhD, FAPS, FCASI, FRSC, FIEEE
President
MPB Technologies Inc.
Dorval, Quebec

Richard Bolton, PhD
Directeur général
Centre canadien de fusion magnétique
Institut de recherche d'Hydro-Québec
Varennes (Québec)

Douglas Bennell Craig, BASc, PhD
Teacher and Instructor
F.H. Collins Secondary School and Yukon College
Whitehorse, Yukon

Simon J.S.W. Curry, BA, MA, PhD
Manager
VHDL and High-Level Capture
Bell-Northern Research
Ottawa, Ontario

James Cutt, MA, PhD
Professor
School of Public Administration
University of Victoria
Victoria, British Columbia

Richard M. Dillon, BSc, LLD
Principal

Alafin Consultants Limited
Toronto, Ontario

Gerald B. Dyer, BSc
Director-Research
Du Pont Canada Inc.
Kingston, Ontario

Robert O. Fournier, BSc, MSc, PhD
Associate Vice-President (Research)
Dalhousie University
Halifax, Nova Scotia

J. Barry French, BASc, MSc, PhD, FRSC, FRSA, FCASI
Professor
Institute for Aerospace Studies
University of Toronto
Downsview, Ontario

Merritt A. Gibson, BSc, MSc, PhD
Professor and Head of the Department
Department of Biology
Acadia University
Wolfville, Nova Scotia

J.C. (Clay) Gilson, BSA, MSc, PhD, FAIC, LLD
Professor
Department of Agricultural Economics
University of Manitoba
Winnipeg, Manitoba

Gordon Gow, BSc
Deputy Minister
Ministry of Industry, Trade and Technology
Toronto, Ontario

Robert G. Guidoin, PhD
Professeur titulaire
Laboratoire de chirurgie expérimentale
Pavillon de Services
Université Laval
Québec (Québec)

Norman B. Keevil, OC, PhD
Chairman of the Board
Teck Corporation
Vancouver, British Columbia

Bernard M. Leduc, MD, DPhil
Vice-président
Affaires médicales
Laboratoires Ayerst
Saint-Laurent (Québec)

Gerald S.H. Lock, BSc, PhD
Professor
Department of Mechanical Engineering
University of Alberta
Edmonton, Alberta

Ian G. MacQuarrie, BSc, MSc, PhD
Professor
Department of Biology
University of Prince Edward Island
Charlottetown, Prince Edward Island

Frank G. Marsh, BSc, BEd, MEd, PhD
President
Eastern Community College
Burin, Newfoundland

Karim Wade Nasser, PhD, PEng
Professor
Department of Civil Engineering
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan

John Roth, MEng
Executive Vice-President
Product Line Management
Northern Telecom Limited
Mississauga, Ontario

Charles R. Scriver, MD, FRSC
Professor of Pediatrics, Genetics and Biology
McGill University, and
Director
deBelle Laboratory for Biochemical Genetics
The McGill University-Montreal Children's Hospital Research Institute
Montreal, Quebec

Jennifer M. Sturgess, BSc, PhD
Director
Medical and Scientific Affairs
Parke-Davis, Warner-Lambert Canada Inc.
Scarborough, Ontario

Andrew Szonyi, MBA, MASc, PhD, PEng
Chairman
Zarex Management
Toronto, Ontario

John Malcolm Webster, BSc, PhD, ARCS, DIC
Professor
Department of Biological Sciences
Simon Fraser University
Burnaby, British Columbia

Hugh Robert Wynne-Edwards, BSc, MA, PhD, DSc, PEng, FRSC
Vice-President
Research and Development
Chief Scientific Officer
Alcan International Limited
Montreal, Quebec

LES TECHNOLOGIES-CLÉS:

porte ouverte sur notre compétitivité future

Février 1989

Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe
Ottawa (Canada)
K1P 5M1

N° de catalogue SS21-5/1989-1
ISBN n° 0-662-56428-6
© Ministère des approvisionnements et Services, 1989

Février 1989

L'honorable William C. Winegard, CP, député
Ministre d'État (Sciences et Technologie)
Chambres des communes
Ottawa (Ontario)

Monsieur le Ministre,

Conformément à l'article 13 de la Loi sur le Conseil des sciences du Canada, j'ai le plaisir de vous présenter une déclaration du Conseil intitulée *Les technologies-clés : porte ouverte sur notre compétitivité future.*

Les membres du Conseil ont approuvé à l'unanimité les vues et les recommandations formulées dans cette déclaration.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Ministre, l'expression de mes sentiments les plus distingués.

La présidente du
Conseil des sciences du Canada

Geraldine A. Kenney-Wallace

Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe
Ottawa (Canada)
K1P 5M1

N° de catalogue SS21-5/1989-1
ISBN n° 0-662-56428-6
© Ministère des approvisionnements et Services, 1989

Février 1989

L'honorable William C. Winegard, CP, député
Ministre d'État (Sciences et Technologie)
Chambres des communes
Ottawa (Ontario)

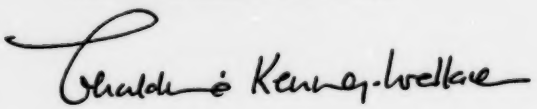
Monsieur le Ministre,

Conformément à l'article 13 de la Loi sur le Conseil des sciences du Canada, j'ai le plaisir de vous présenter une déclaration du Conseil intitulée *Les technologies-clés : porte ouverte sur notre compétitivité future.*

Les membres du Conseil ont approuvé à l'unanimité les vues et les recommandations formulées dans cette déclaration.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Ministre, l'expression de mes sentiments les plus distingués.

La présidente du
Conseil des sciences du Canada



Geraldine A. Kenney-Wallace

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	6
Recommandations	8
Introduction	10
Stratégies nationales des technologies-clés	14
La recherche d'une vocation technologique et l'établissement de stratégies technologiques aux échelons régional et local	16
L'ajustement de l'infrastructure de soutien pour le développement et l'application des technologies-clés	18
Les technologies-clés et l'enseignement au Canada	23
Notes	26
Comité des technologies-clés du Conseil des sciences du Canada	28
Conseil des sciences du Canada	28

RÉSUMÉ

Trois grands groupes de technologies révolutionnent l'industrie dans le monde entier : les technologies de l'information et des communications, la biotechnologie et la technologie des matériaux industriels de pointe. En plus d'ouvrir la voie à un vaste éventail de nouveaux produits et services, ces "technologies-clés" transforment les méthodes de production dans presque tous les secteurs de l'économie.

Pour tenir tête à ses concurrents sur les marchés mondiaux, le Canada doit maîtriser certains secteurs de ces technologies. Le gouvernement, en qualifiant certaines technologies de stratégiques, reconnaît leur importance.

Dans *Les technologies-clés : porte ouverte sur notre compétitivité future*, le Conseil des sciences du Canada insiste sur le besoin d'agir sur quatre fronts afin de promouvoir le développement et l'application des technologies-clés. Il fait les observations suivantes :

Une stratégie nationale : La stratégie canadienne de développement des technologies s'est le plus souvent révélée fragmentée et à court terme et ne se rapportait pas assez à des objectifs industriels précis. L'une des premières tâches à laquelle doit s'atteler le Canada est la formulation de stratégies nationales pour le développement et l'application des technologies-clés. Ces stratégies devraient se concentrer sur des buts visant les 10 à 15 prochaines années. (Recommandation nº 1)

Le développement régional : Les technologies-clés pourraient jouer un rôle crucial dans le développement régional. Les régions de production primaire, en particulier, doivent prendre conscience de l'apport virtuel des technologies-clés à leur prospérité future. Chaque région doit trouver sa propre "vocation technologique", en misant en priorité sur les technologies qui permettraient de rendre l'industrie locale plus compétitive. (Recommandation nº 2)

L'infrastructure de soutien : À quelques exceptions près, les entreprises canadiennes se sont montrées plus lentes à adopter les technologies-clés que les entreprises d'autres pays. Plusieurs entreprises connaissent mal les avantages que présentent les nouvelles technologies et, quand elles les connaissent, ne savent pas les gérer de façon stratégique. L'autodéveloppement industriel est le meilleur moyen d'accélérer la diffusion des nouvelles technologies correspondant aux pratiques optimales. (Recommandations nº 3, 4 et 5)

L'autodéveloppement industriel constitue une première étape. Mais le manque d'établissements de conception ou de fabrication de certains composants peut gêner le développement de nouveaux produits et procédés avancés. C'est le cas surtout de l'industrie de l'électronique qui a besoin de circuits intégrés sur mesure pour produire des biens et services à grande valeur ajoutée. L'État, l'industrie et l'université doivent collaborer pour (a) s'assurer que l'entreprise canadienne a accès sans contraintes à des installations de conception et de fabrication et (b) aider l'entreprise à adopter les techniques les plus modernes de CFAO de circuits. (Recommandation nº 6)

En outre, il faut de grands programmes pour stimuler la demande de R-D. Dans de nombreux pays, d'importants programmes nationaux dans le domaine de l'aérospatiale ou de la défense jouent ce rôle. Le Canada, quant à lui, pourrait se concentrer sur des projets nationaux dans des domaines civils de la technologie, par exemple sur l'emploi de la biotechnologie dans la lutte contre la pollution et dans l'élimination des déchets. (Recommandation nº 7)

Enfin, le Canada doit assurer suffisamment de fonds à la R-D préconcurrentielle et aux entreprises technologiques émergentes. L'absence de capitaux de lancement au stade précommercial afflige en permanence les entreprises technologiques au Canada, dont la plupart sont petites. Nous proposons que l'on encourage le partage des risques, notamment en restructurant les abris fiscaux pour que les entreprises puissent trouver les capitaux de démarrage qu'il leur faut. (Recommandation nº 8)

L'enseignement et la recherche universitaires : En fin de compte, le Canada ne pourra se doter de moyens nationaux dans le secteur des technologies-clés que s'il finance suffisamment la recherche universitaire dans la multitude de disciplines qui sous-tendent ces technologies, sans quoi il ne pourra s'assurer ni l'acquis nécessaire ni une relève de diplômés en mesure de répondre aux besoins de l'industrie. Il faudrait une sérieuse augmentation des crédits alloués à la recherche universitaire dans le cadre du Programme des subventions thématiques du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie. (Recommandation nº 9)

RECOMMANDATIONS

Le Conseil des sciences du Canada recommande que les mesures suivantes soient prises pour encourager le développement et l'application des technologies-clés au Canada :

1. *Qu'avec le concours de tous les intéressés, Industrie, Sciences et Technologie Canada prenne l'initiative de dresser des stratégies de développement et d'application des technologies-clés, notamment des diverses technologies de l'information et des communications, de la biotechnologie et de la technologie des matériaux industriels de pointe. Ces stratégies devraient viser des buts à la fois réalistes et ambitieux allant du moyen au long terme (c'est-à-dire à échéance de 10 à 15 ans), reposer sur un engagement raisonnable de la part de tous les intéressés, et prévoir les mécanismes nécessaires pour suivre les progrès réalisés et modifier au besoin les objectifs établis.*

2. *Que toutes les provinces, régions ou zones métropolitaines du Canada collaborent avec les principaux intéressés pour formuler et mettre en oeuvre des stratégies de développement industriel qui comprennent l'application et le développement des technologies-clés. Ces stratégies devraient :*

   - *cerner les atouts, les faiblesses et les lacunes institutionnelles dans le domaine des technologies-clés,*
   - *encourager chaque localité à trouver sa vocation technologique pour mieux concentrer ses efforts,*
   - *mener les participants à s'entendre sur les buts et sur les moyens de les atteindre,*
   - *faciliter la mise en commun des installations, par exemple des usines de mise à l'échelle ou des laboratoires,*
   - *aider les laboratoires des universités et de l'État à transférer la technologie à l'industrie.*

3. *Que les dirigeants d'entreprises, d'associations d'entreprises industrielles, d'institutions financières et de syndicats du Canada s'efforcent d'en apprendre suffisamment sur les aspects pratiques de la gestion stratégique du changement technologique pour pouvoir faire preuve de leadership et de prévoyance.*

4. *Que toutes les entreprises canadiennes réévaluent constamment leur capacité technologique et, au besoin, l'améliorent. Pour une petite entreprise, cela peut vouloir dire engager un ingénieur, former le personnel technique et de production, trouver le moyen d'envoyer le personnel technique à des conférences ou entretenir des rapports avec des centres locaux de spécialistes. Dans la mesure du possible, chaque entreprise doit charger une personne compétente de suivre les progrès technologiques qui promettent d'être importants.*

5. *Que les associations canadiennes d'entreprises industrielles incitent davantage leurs membres à l'autodéveloppement technologique. Elles doivent également envisager d'offrir à leurs membres des services techniques appropriés. Par exemple, elles pourraient confier aux membres de leur personnel qui ont une formation technique le soin de suivre l'évolution des pratiques optimales ou mettre en place des installations de R-D collective ou préconcurrentielle. En outre, les associations doivent, en offrant des services d'éducation à leurs membres, chercher à améliorer les compétences techniques des chefs d'entreprises.*

6. *Que l'on charge un groupe de travail, où seraient représentés le gouvernement, l'industrie et l'université, de recommander comment garantir :*

   - *que le Canada devienne et demeure très compétent dans la conception des circuits intégrés et trouve des moyens d'assurer le développement, l'acquisition et l'emploi de la CFAO ainsi que d'autres types appropriés de matériel et de logiciel,*
   - *que le Canada examine comment assurer l'accès à des installations modernes de production de microélectronique et détermine comment garantir l'accès à une variété d'installations de production,*
   - *que l'on aborde la question de la fabrication de puces commerciales au Canada, que l'on définisse clairement la nature et la portée du problème et que l'on dégage les solutions possibles,*
   - *que l'on cerne et élimine les obstacles qui empêchent les fabricants*

canadiens d'adopter des techniques de conception de la microélectronique et de tirer parti des perspectives qu'ouvrent ces nouvelles techniques de conception.

Ce groupe de travail comprendrait des représentants d'Industrie, Sciences et Technologie Canada et d'autres organismes du gouvernement s'intéressant à la microélectronique, d'associations professionnelles canadiennes comme l'Association canadienne de technologie de pointe, l'Association des manufacturiers d'équipement électrique et électronique du Canada, l'Association canadienne de la technologie de l'information et l'Association canadienne de dessin semiconducteur, et d'universités et d'organismes d'enseignement comme la Canadian Microelectronics Corporation.

7. *Que l'on charge un groupe de travail représentant les principales associations d'entreprises industrielles et les principales universités du Canada de proposer à Industrie, Sciences et Technologie Canada un cadre de référence pour le lancement d'un petit nombre de projets nationaux dans le domaine des technologies-clés. De telles mesures s'imposent, vu la pauvreté de l'infrastructure canadienne des technologies industrielles innovatrices.*

8. *Que le ministre fédéral des Finances charge un groupe de travail d'examiner s'il est facile aux entreprises canadiennes à caractère technologique d'obtenir des capitaux de lancement, de mise en route et de développement. Ce groupe de travail doit aussi recommander comment encourager les capitalistes et les gestionnaires d'investissements du Canada à offrir aux petites entreprises et aux entreprises technologiques en pleine croissance le capital-risque nécessaire. Une importante mesure consisterait à restructurer les abris fiscaux de façon à rendre relativement plus intéressant l'investissement dans les entreprises technologiques spéculatives.*

9. *Il faut, d'ici à 1992, porter à 120 millions de dollars par an les crédits accordés à la recherche universitaire dans le domaine des technologies-clés, au titre du Programme des subventions thématiques du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, crédits qui se chiffrent actuellement à 32 millions de dollars par an. De plus, les provinces et le gouvernement fédéral doivent fournir aux universités les fonds supplémentaires dont elles ont besoin pour financer leurs étudiants diplômés et acheter le matériel nécessaire.*

INTRODUCTION

Au Canada, comme dans la plupart des autres pays industrialisés, une grande partie des débats que soulève la politique des sciences et de la technologie portent aujourd'hui sur les moyens de développer des industries nationales à forte concentration de savoir et d'améliorer la capacité technologique des industries traditionnelles et de l'industrie des services. Presque tous les concurrents du Canada visent ces objectifs et ont adopté des stratégies pour les atteindre.

Une grande partie de l'attention s'est tournée vers trois groupes de technologies : la technologie de l'information et des communications, la biotechnologie et la technologie des matériaux industriels de pointe. Ces "technologies-clés" ont ou auront une certaine influence sur une multitude de produits, de procédés et de services dans une vaste gamme d'industries, et pas seulement dans les industries de pointe. Autrement dit, ces technologies s'enracineront profondément dans l'économie nationale et l'économie mondiale et les restructureront.

Les technologies de l'information et des communications, la biotechnologie et la technologie des matériaux industriels de pointe sont au coeur d'un nouvel ordre industriel international. Le changement pose deux menaces à la compétitivité de petits pays industrialisés comme le Canada. En premier lieu, dans les industries émergentes imprégnées d'un dynamisme technologique, les coûts et la complexité des technologies de pointe augmentent tellement que les marchés sont dominés de plus en plus par les grands pays industrialisés qui peuvent se permettre d'investir à long terme, d'absorber des coûts d'apprentissage et des risques très élevés et profiter d'économies d'échelle. Deuxièmement, les industries bien établies, qui reposent sur une technologie plus facile à maîtriser, fuient vers les pays en voie d'industrialisation. Les petits pays industrialisés comme le Canada se trouvent donc évincés d'un côté par les grandes puissances industrielles, qui dominent les technologies les plus avancées, et de l'autre côté par les nouveaux pays industrialisés qui savent maîtriser les technologies établies et percer sur les marchés grâce à la position concurrentielle que leur donne, à l'origine, une main-d'oeuvre moins chère.

Il y a de nombreux observateurs à douter que l'économie canadienne puisse continuer à soutenir notre niveau de vie élevé jusqu'au siècle prochain. Bien souvent par le passé, c'est son accès aux matières premières qui a permis à l'industrie canadienne de demeurer concurrentielle sur les marchés internationaux. Dans un certain nombre d'industries qui constituent l'essentiel du secteur canadien de la fabrication, comme celles des textiles, de l'automobile, de l'acier, du caoutchouc, des produits chimiques de base et des produits forestiers, la concurrence internationale a beaucoup augmenté au cours des vingt dernières années, et cette tendance ne peut que se poursuivre. Qui plus est, le secteur canadien des ressources doit s'attendre à se voir concurrencer bien plus vivement par d'autres pays exportateurs de matières premières et par de nouveaux matériaux synthétiques créés en laboratoire.

Notre avenir dépendra en grande partie de la mesure dans laquelle le Canada saura tirer parti de ses avantages comparatifs et saura notamment acquérir et entretenir une variété de compétences scientifiques, techniques, gestionnaires, politiques et sociales, et les mettre en oeuvre pour atteindre ses objectifs sociaux et économiques. L'industrialisation axée sur le savoir exige que nous apprenions à mieux choisir et utiliser un grand nombre des technologies-clés de façon efficace et en temps opportun pour produire des biens et services qui puissent se vendre à l'étranger. Conscient de l'importance des technologies de l'information et des communications, de la biotechnologie et de la technologie des matériaux industriels de pointe, le gouvernement fédéral les a désignées technologies stratégiques.

Dans d'autres publications sur le développement de la technologie industrielle, sur le rôle des universités dans le renouveau économique et sur les effets des sciences et de la technologie sur l'environnement, le Conseil des sciences du Canada a abordé plusieurs questions axées sur les technologies-clés au

Les technologies-clés : ce qu'elles sont, pourquoi elles sont importantes

Les technologies-clés se regroupent en trois grandes catégories : les technologies de l'information et des communications, la biotechnologie et la technologie des matériaux industriels de pointe.

Les technologies de l'information et des communications sont des produits et des procédés qui font intervenir la collecte, la transmission et la manipulation de l'information, y compris de la voix, des textes et des images. Les circuits intégrés et le logiciel sont les deux principaux composants de toutes les technologies de l'information et des communications.

Les circuits intégrés, de loin les objets les plus complexes que l'homme ait jamais conçus, sont des circuits électroniques miniaturisés comprenant des centaines de milliers de composants (et donc de nombreuses fonctions) sur une puce de matière semi-conductrice comme le silicium, d'environ un millimètre carré. La fabrication des circuits intégrés exige l'aptitude de graver des composants et de déposer des couches d'une épaisseur d'un micron ou moins, c'est-à-dire de l'épaisseur de quelques centaines d'atomes.

Les circuits intégrés d'aujourd'hui remplissent des fonctions qui, voilà une vingtaine d'années à peine, exigeaient des centaines de milliers de tubes à vide ou de transistors. En outre, la densité et la complexité des circuits continuent d'augmenter à un rythme effarant. Dans une dizaine d'années, les circuits intégrés comprendront plusieurs millions de composants actifs.

Les circuits intégrés se classent en deux grands groupes. Le premier groupe comprend les "puces universelles", des circuits de mémoire banale ou de microprocesseur, qui sont de conception standard et sont fabriquées en série. Le second groupe est composé de circuits conçus et fabriqués expressément pour certaines applications. Ces circuits intégrés "sur mesure" ont une forte valeur ajoutée. Les deux types de circuits doivent être achetés ou fabriqués par les fabricants de produits électroniques.

Le logiciel est l'ensemble de règles et de données qui dirige les opérations des systèmes d'informatique et de communications. Avec la baisse des coûts unitaires des principaux éléments du matériel, comme les circuits intégrés et la mémoire, le logiciel représente aujourd'hui une plus grande proportion du coût total d'un système électronique qui utilise un logiciel. Le logiciel correspond maintenant à 60-80 pour cent du total. Le coût du logiciel s'explique par les méthodes de production à forte intensité de main-d'oeuvre. Toutefois, l'emploi de l'ordinateur et de divers systèmes de traitement des connaissances pour la mise au point du logiciel (comme dans l'ingénierie de logiciel assistée par ordinateur) augmentera la productivité et la fiabilité dans le domaine de la production de logiciel.

Des combinaisons infinies et de plus en plus complexes de logiciel et de circuits intégrés donnent lieu à une multitude d'applications et de produits. Les technologies de l'information et des communications, déjà présentes dans chaque secteur de l'économie, se répandront de plus en plus dans les années à venir.

La biotechnologie est une activité scientifique et technique qui manipule des agents biologiques pour produire des biens et des services nouveaux ou améliorés. La nature multidisciplinaire de la biotechnologie englobe tout un éventail de techniques traitant de l'ADN recombiné, de la fusion des cellules, du clonage de cellules végétales et animales, d'anticorps monoclonaux, de culture de tissus et du génie des bioprocédés. La biotechnologie prend sa source dans les procédés qui, depuis des millénaires, servent à faire du pain, de la bière, du fromage et d'autres produits. Ce qui distingue la nouvelle biotechnologie et lui donne son caractère révolutionnaire, c'est l'expansion énorme de notre aptitude à manipuler des agents biologiques grâce au transfert, à la modification et au contrôle du matériel génétique.

La biotechnologie présente une vaste gamme de débouchés commerciaux potentiels. Les premiers efforts visant à trouver des applications commerciales à la biotechnologie se sont tournés vers le secteur des soins de santé. Toutefois, un groupe bien plus varié d'industries établies, comme celles des produits chimiques, de l'alimentation, des produits pharmaceutiques, des pâtes et papiers, des mines, de l'équipement et des instruments, de l'agriculture, de l'exploitation forestière et du traitement des déchets, est maintenant actif dans le domaine de la biotechnologie.

La biotechnologie exercera une profonde

influence sur l'industrie canadienne. Ses effets se font déjà sentir dans le secteur canadien des soins de santé, où on l'utilise dans les produits pharmaceutiques de diagnostic et de thérapeutique. Dans les industries traditionnelles de l'agriculture, du conditionnement des aliments et de l'exploitation forestière et minière, la biotechnologie promet une plus grande efficacité et un grand nombre de produits et procédés nouveaux ou améliorés. Il se peut qu'elle ouvre aussi des débouchés commerciaux bien plus vastes dans les domaines de la lutte contre la pollution et du traitement des déchets toxiques. Dans les années à venir, la biotechnologie pourrait nous offrir de nouvelles variétés végétales et animales, de nouveaux engrais, de nouvelles méthodes de lutte contre les ravageurs et les maladies, de nouvelles hormones de croissance et de nouvelles méthodes d'élimination des déchets. Toutefois, le Canada risque de perdre d'importants marchés pour un grand nombre de ses ressources naturelles si les producteurs canadiens n'innovent pas dans ce domaine de technologie-clé.

Les matériaux industriels de pointe constituent un grand groupe de matériaux synthétiques très performants allant des métaux aux composites en passant par les céramiques, les polymères et les semi-conducteurs. Les récents progrès réalisés dans notre connaissance de la structure de la matière, dans les techniques informatiques de modélisation et de simulation, et dans la technologie du traitement permettent maintenant de mettre au point, atome par atome, un matériau destiné à satisfaire un besoin donné. Les matériaux ainsi conçus ont des propriétés structurales ou fonctionnelles voulues et très particulières. Les matériaux industriels de pointe auront une profonde influence sur les technologies de l'information, des communications et de l'énergie, sur les industries des transports et sur les secteurs de la médecine, de la fabrication et de la construction.

Les matériaux industriels de pointe prolongent le fonctionnement de systèmes existants ou rendent possibles de nouveaux types de systèmes. On s'en sert de plus en plus pour améliorer le fonctionnement de composants et de systèmes, où ils remplacent ou améliorent des pièces structurales auparavant faites de matériaux classiques comme le bois, l'acier, le cuivre, l'aluminium et le béton. Les matériaux industriels de pointe offrent également de meilleures propriétés fonctionnelles, par exemple la résistance à la corrosion, la semi-conductivité ou la super-conductivité.

De nouveaux alliages, polymères, céramiques et composites servent de plus en plus dans l'industrie automobile et dans l'aérospatiale. À titre d'exemple, des alliages à haute température sont utilisés dans les moteurs d'avion et des alliages structuraux ultra-légers, résistants à la corrosion et extra-durs sont également disponibles. On a conçu des aciers spéciaux avec peu de défauts et de meilleures propriétés mécaniques, par exemple une plus grande aptitude au façonnage ou une meilleure soudabilité. Les polymères de pointe offrent un éventail incroyable de propriétés : résistance spéciale, dureté, stabilité, légèreté, conductivité, perméabilité ou biocompatibilité, autant de propriétés qui ouvrent des perspectives d'innovation complètement nouvelles. Les céramiques de pointe peuvent offrir certaines propriétés : dureté, résistance, biocompatibilité, inertie, faible densité, pouvoir abrasif, résistance à la chaleur, à l'usure et à la corrosion, ainsi que d'autres propriétés électriques, magnétiques, optiques, biologiques ou nucléaires. Les caractéristiques des composites peuvent comprendre la résistance, la rigidité, la dureté, la résistance à la corrosion ou la facilité de fabrication.

Certains nouveaux matériaux comme les plastiques utilisés pour des éléments structuraux, concurrencent les métaux et d'autres matériaux, parce qu'ils sont plus faciles ou moins coûteux à façonner et à traiter. En outre, la grande variété de techniques utilisées pour la production et le traitement des matériaux industriels de pointe (par exemple le moulage, le façonnage, le dépôt en phase gazeuse et l'emploi de poudres métalliques) révolutionne les marchés de l'équipement de conception et de production dans le secteur de la fabrication.

On ne connaît pas encore vraiment les conséquences économiques et sociales des nouvelles biotechnologies et des matériaux industriels de pointe. Toutefois, les innombrables applications de la technologie de l'information ont déjà bouleversé l'organisation et la gestion de grands secteurs de la vie économique et sociale. Les technologies de l'information se caractérisent par l'extrême rapidité des changements qui non seulement multiplient leurs caractéristiques de fonctionnement et leur gamme d'application mais augmentent aussi de beaucoup la complexité des méthodes de production. En conséquence, de nombreux producteurs potentiels dans le domaine des nouvelles technologies ont énormément de mal à se lancer dans le secteur. De plus, les organisations et les particuliers devront se

montrer beaucoup plus souples et prévoyants pour s'adapter à l'évolution rapide des conceptions, des modèles, des produits et des procédés. Cette souplesse et cette prévoyance se traduiront par la qualité et le nombre accrus des produits et services offerts, par l'attitude envers l'innovation, le risque et l'investissement et par la gestion des organisations. À la longue, l'élimination partielle des composants électro-mécaniques et l'introduction de matériaux conçus sur mesure et offrant des caractéristiques structurales ou fonctionnelles particulières permettront de réaliser des économies substantielles en énergie et en matériaux.

Canada[1]. Dans la présente déclaration, le Conseil des sciences aborde les principaux points suivants :

- Le Canada a-t-il adopté la bonne stratégie pour se doter des moyens nécessaires dans le domaine des technologies-clés?
- À partir de quels critères les régions doivent-elles décider des compétences qu'il leur faut acquérir en priorité dans certaines technologies?
- Comment mettre en place une infrastructure de soutien satisfaisante pour le développement et l'application des technologies-clés?
- De quelles ressources aurons-nous besoin pour nous doter de l'acquis sur lequel reposent les compétences dans le domaine des technologies-clés?

STRATÉGIES NATIONALES DES TECHNOLOGIES-CLÉS

Le Canada a tardé à dresser une stratégie des technologies-clés. Celle qu'il a adoptée n'a que des rapports fort vagues avec les grands objectifs de développement industriel. Dans l'ensemble, l'innovation technologique n'a été qu'un thème secondaire dans le cadre, plus vaste, d'une politique industrielle implicite axée principalement sur la redistribution régionale des richesses ou dictée, à un moindre degré, par des considérations militaires. En conséquence, la stratégie canadienne de renouveau industriel n'a pas été aussi dynamique ou innovatrice qu'elle aurait pu l'être. Ce n'est que dernièrement que la stratégie de technologie avancée axée sur le renouveau industriel et la restructuration est devenue plus vigoureuse en se concentrant davantage sur la mise en place d'une infrastructure scientifique et technique dans le secteur public, sur l'orientation générale d'une R-D financée par l'État et sur le recours à diverses mesures d'encouragement pour stimuler la R-D industrielle. À l'exception partielle des secteurs de la défense et de la recherche sur l'énergie nucléaire et du Programme d'aide à la recherche industrielle du Conseil national de recherches, le Canada a peu encouragé l'industrie à concentrer ses efforts dans des technologies-clés particulières.

Au Canada, aucune des trois technologies-clés ne fait actuellement l'objet d'une approche proactive alliant la stratégie technologique et la stratégie industrielle à la poursuite de buts clairement définis. Dans les technologies de l'information et des communications, une multitude de programmes et d'organismes offrent un éventail d'encouragements, mais il n'existe pour ainsi dire aucune stratégie qui puisse les coordonner ou les orienter. En 1987, le gouvernement fédéral a annoncé une stratégie de la microélectronique relativement modeste, qui, après avoir été si attendue, a été bien accueillie, et il ne fait aucun doute qu'il s'agit d'une importante initiative de la part de l'ancien ministère de l'Expansion industrielle régionale, où l'innovation technologique a souvent cédé le pas à d'autres considérations. Dans le domaine des matériaux industriels de pointe, malgré certains efforts comme ceux du Conseil des sciences et de l'ancien département d'État chargé des Sciences et de la Technologie, le Canada n'a toujours pas de stratégie explicite pour se doter de ses propres moyens d'innovation. En biotechnologie, la stratégie du Canada visait surtout à renforcer la recherche dans le secteur public et à établir des liens entre les services de recherches du secteur public et l'industrie. Toutefois, cette stratégie, qui a maintenant expiré, ne se rapportait qu'aux objectifs industriels les plus généraux.

Depuis quelques années, le Canada semble prendre de plus en plus conscience de l'importance des sciences et de la technologie et de la nécessité de se fixer des objectifs nationaux dans ce domaine. Pour la première fois, les sciences, la technologie et l'industrie relèvent d'un même ministère fédéral. La création d'Industrie, Sciences et Technologie Canada (ISTC) a été annoncée en août 1987[2]. Dorénavant, il sera peut-être possible de dresser une stratégie des technologies-clés dans le contexte d'une stratégie de développement industriel plus vaste. ISTC se concentrera surtout sur la revitalisation industrielle, en stimulant l'innovation et les technologies-clés et en cessant progressivement de subventionner les industries peu susceptibles de devenir concurrentielles.

Par ailleurs, le gouvernement a récemment annoncé le lancement du Programme des technologies stratégiques, qui investira quelque deux cent millions de dollars dans des alliances stratégiques au cours des quatre prochaines années. Ce programme vise expressément la biotechnologie, les technologies de l'information et des communications et la technologie des matériaux industriels de pointe. Une partie du programme encouragera la R-D préconcurrentielle au sein de consortiums dirigés par l'industrie, tandis que l'autre encouragera la formation d'alliances ayant pour objet de mettre au point des applications des technologies-clés. Le Conseil des sciences du Canada félicite le gouvernement de ces initiatives et formule la recommandation suivante :

1. *Qu'avec le concours de tous les intéressés, Industrie, Sciences et Technologie Canada prenne l'initiative de dresser des stratégies de développement et d'application des technologies-clés, notamment des diverses technologies de l'information et des communications, de la biotechnologie et de la technologie des matériaux industriels de pointe. Ces stratégies devraient viser des buts à la fois réalistes et ambitieux allant du moyen au long terme (c'est-à-dire à échéance de 10 à 15 ans), reposer sur un engagement raisonnable de la part de tous les intéressés, et prévoir les mécanismes nécessaires pour suivre les progrès réalisés et modifier au besoin les objectifs établis.*

LA RECHERCHE D'UNE VOCATION TECHNOLOGIQUE ET L'ÉTABLISSEMENT DE STRATÉGIES TECHNOLOGIQUES AUX ÉCHELONS RÉGIONAL ET LOCAL

Les technologies-clés pourraient jouer un rôle important dans le développement des régions, des sous-régions, des provinces ou des zones métropolitaines. Celles-ci auraient tout intérêt à encourager les efforts dans les technologies-clés susceptibles de favoriser le développement industriel local ou dans celles où elles ont un espoir raisonnable de se trouver des avantages. Il y a toutefois des obstacles à surmonter.

On tend à penser que le développement régional consiste exclusivement et par définition à appliquer au secteur des ressources des technologies déjà bien établies. Les régions qui exportent des produits bruts et qui sont éloignées des principaux centres de fabrication et de R-D du pays ne voient souvent pas quel rôle les technologies de pointe pourraient jouer dans leur avenir. Récemment, une étude de la politique d'innovation dans les provinces de l'Ouest a fait ressortir qu'il était difficile de mobiliser les appuis pour des nouvelles industries dans les régions dont l'économie repose sur l'exploitation des ressources et a attribué ce problème à une variété de facteurs géographiques et économiques qui influencent les décisions des dirigeants de ces industries[3]. Par ailleurs, une récente étude de la technologie dans l'industrie canadienne des produits forestiers fait valoir que la mentalité de producteur primaire fait échec à l'innovation dans les entreprises canadiennes des produits forestiers et dans les entreprises qui les fournissent en équipement[4].

Pour offrir des conditions propices encourageant l'adoption et le développement de technologies-clés, chaque région ou localité doit se doter des formes de leadership et d'infrastructure (stratégies, réseaux de soutien, clubs d'entreprise, etc.) qui favorisent l'innovation et le renouveau économique. Il faut, par ailleurs, veiller à établir l'infrastructure technique et financière qui permettra d'améliorer et de soutenir l'activité industrielle innovatrice, autrement dit les services techniques et de conception, les installations de mise à l'échelle, les constructeurs d'équipement et de prototypes, les services de consultation et autres services d'affaires, les services de formation et de recyclage techniques, et les fonds d'investissement locaux.

Dans sa planification stratégique, une région ou une municipalité doit projeter ce qu'elle désire devenir et ce qu'elle est disposée à faire pour y parvenir. Il est essentiel qu'elle le fasse si elle désire mobiliser les appuis nécessaires et les concentrer sur des projets donnés afin d'établir sa "vocation technologique", qu'elle définira selon les atouts qu'elle croit posséder et les débouchés qu'elle espère exploiter. Citons deux exemples récents. Dans un rapport sur la technologie de l'information en Colombie-Britannique, le Science Council of British Columbia a recommandé une application dynamique des technologies de l'information dans le secteur primaire de la province et a proposé à cet égard un certain nombre de rouages et d'objectifs locaux[5]. De même, dans une ébauche de stratégie scientifique et technologique pour la région de Québec, le Conseil de la science et de la technologie a proposé un certain nombre de priorités de développement technologique (dont la biomédecine, la biomasse, l'optique et le laser) ainsi que des objectifs et les moyens d'atteindre ces derniers[6].

Chacun de ces exemples représente un projet de vocation technologique régionale qui mise sur les atouts de la région et offre la direction nécessaire pour porter les intéressés à s'engager et pour mobiliser les appuis à l'échelon local. Dans chaque cas, les responsables locaux ont veillé à assurer le consensus et la concertation des efforts.

Le Conseil des sciences du Canada recommande :

2. *Que toutes les provinces, régions ou zones métropolitaines du Canada collaborent avec les principaux intéressés pour formuler et mettre en oeuvre des stratégies de développement industriel qui comprennent l'application et le développement des technologies-clés. Ces stratégies devraient :*

- *cerner les atouts, les faiblesses et les lacunes institutionnelles dans le domaine des technologies-clés,*
- *encourager chaque localité à trouver sa vocation technologique pour mieux concentrer ses efforts,*
- *mener les participants à s'entendre sur les buts et sur les moyens de les atteindre,*
- *faciliter la mise en commun des installations, par exemple des usines de mise à l'échelle ou des laboratoires,*
- *aider les laboratoires des universités et de l'État à transférer la technologie à l'industrie.*

L'AJUSTEMENT DE L'INFRASTRUCTURE DE SOUTIEN POUR LE DÉVELOPPEMENT ET L'APPLICATION DES TECHNOLOGIES-CLÉS

Le rôle de l'industrie

Les produits et les procédés microélectroniques sont au coeur des technologies de l'information et des communications. L'amélioration de la performance économique repose sur la diffusion du vaste éventail de ces produits et procédés dans tous les secteurs industriels. Malheureusement, les secteurs canadiens des services et de la fabrication n'ont pas embrassé la technologie de la microélectronique aussi rapidement que ceux d'autres pays industrialisés. De plus, au Canada même, les entreprises canadiennes ont été plus lentes que les entreprises étrangères à adopter les innovations de la microélectronique, bien que la diffusion semble s'être accélérée au cours des années 80. Maintenant, le Canada se compare favorablement à certains grands pays européens dans l'emploi de certaines techniques de fabrication axées sur la microélectronique, à l'exception des robots industriels.

L'introduction de la fabrication intégrée par ordinateur exige, à l'échelle de l'entreprise, une planification stratégique prise en main par la haute direction de l'entreprise. Le Conseil canadien CAO/FAO pour l'avancement de la fabrication intégrée par ordinateur fait ressortir que les entreprises prennent trop souvent les décisions de fabrication au coup par coup et laissent à leur service de la production le soin de décider en matière de technologie. Cette approche ne saurait plus convenir, car, contrairement aux applications traditionnelles de l'informatique dans les affaires, la nature stratégique de la fabrication intégrée par ordinateur exige la participation directe et constante de la haute direction au processus[7].

Le Conseil des sciences du Canada recommande :

3. *Que les dirigeants d'entreprises, d'associations d'entreprises industrielles, d'institutions financières et de syndicats du Canada s'efforcent d'en apprendre suffisamment sur les aspects pratiques de la gestion stratégique du changement technologique pour pouvoir faire preuve de leadership et de prévoyance.*

Au Canada, les petites entreprises de fabrication adoptent les techniques de pointe plus lentement que les grandes entreprises. Il y a plusieurs raisons à cela : les petites entreprises connaissent mal les techniques de pointe et ne peuvent savoir lesquelles conviennent le mieux à leurs activités, ont moins souvent les moyens d'entreprendre des études de faisabilité ou de justification des coûts et n'ont ni le personnel spécialisé ni les fonds nécessaires pour investir dans de nouvelles technologies. L'apparition de techniques de fabrication complexes et coûteuses faisant appel à la micro-électronique risque de transformer profondément la composition du secteur de la fabrication au Canada et les petites entreprises qui se laissent devancer risquent de subir le même sort que l'entreprise agricole familiale.

Pour acquérir et améliorer leurs propres compétences techniques, les petites entreprises doivent, soit individuellement soit collectivement, définir leurs besoins et en informer les organismes locaux de formation et de recherche. Les organisations d'autodéveloppement, les chambres de commerce et les associations d'entreprises dynamiques doivent encourager les petites entreprises à acquérir une culture technique suffisante pour pouvoir avoir des rapports fructueux avec les centres de R-D établis dans les universités, les collèges ou les laboratoires du gouvernement.

Le Conseil des sciences du Canada recommande vivement :

4. *Que toutes les entreprises canadiennes réévaluent constamment leur capacité technologique et, au besoin, l'améliorent. Pour une petite entreprise, cela peut vouloir dire engager un ingénieur, former le personnel technique et de production, trouver le moyen d'envoyer le personnel technique à des conférences ou entretenir des rapports avec des centres locaux de spécialistes. Dans la mesure du possible, chaque entreprise doit charger une*

personne compétente de suivre les progrès technologiques qui promettent d'être importants.

Les associations canadiennes d'entreprises industrielles pourraient jouer un rôle-clé en aidant leurs membres à se doter de moyens technologiques de pointe et à s'adapter à l'évolution de la technologie[8]. Elles pourraient diffuser des renseignements et offrir des services de formation et de consultation sur les technologies correspondant aux pratiques optimales. Elles pourraient aussi envisager d'offrir à leurs membres des services de technologie ou des installations de R-D préconcurrentielle ou collective. Certaines associations canadiennes d'entreprises industrielles et d'autres formes d'association entre les entreprises ont mis en place des moyens de R-D collective et d'autres formes d'autodéveloppement technologique et de services d'éducation (citons en exemple l'Institut de soudage du Canada, l'Association canadienne de technologie de pointe et l'Institut canadien du plastique). On a assisté en outre à la création récente de certains groupes comme le Forum canadien des matériaux industriels de pointe et l'Échange de techniques de pointe entre manufacturiers canadiens, dont le but est d'établir des réseaux technologiques entre les entreprises. Toutefois, malgré des changements prometteurs de la part de certaines associations, la plupart des associations professionnelles canadiennes continuent à concentrer leurs efforts sur les démarches auprès du gouvernement et sur les affaires publiques. Peu d'entre elles estiment qu'il leur incombe d'inciter leurs membres à l'autodéveloppement technologique[9].

Le Conseil des sciences du Canada recommande :

5. *Que les associations canadiennes d'entreprises industrielles incitent davantage leurs membres à l'autodéveloppement technologique. Elles doivent également envisager d'offrir à leurs membres des services techniques appropriés. Par exemple, elles pourraient confier aux membres de leur personnel qui ont une formation technique le soin de suivre l'évolution des pratiques optimales ou mettre en place des installations de R-D collective ou préconcurrentielle. En outre, les associations doivent, en offrant des services d'éducation à leurs membres, chercher à améliorer les compétences techniques des chefs d'entreprises.*

Mise en place d'une infrastructure

Dans certains secteurs des technologies-clés, le Canada ne possède pas les installations nationales dont il a besoin. L'infrastructure technologique canadienne accuse, dans le secteur de la conception et de la fabrication des circuits intégrés, des lacunes qui pourraient s'avérer débilitantes. De plus en plus, de nombreuses entreprises devront avoir accès aux circuits intégrés les plus perfectionnés pour pouvoir tenir tête à leurs concurrents en incorporant à leurs produits des composants électroniques innovateurs. La compétitivité des nouveaux produits et procédés reposera sur l'emploi de puces "sur mesure" (dites circuits intégrés propres à une application) dont la conception fait appel à des connaissances spécialisées et constitue la partie innovatrice et à valeur ajoutée de ce produit. Une des principales questions de politique est de savoir dans quelle mesure un pays doit produire ses propres composants de pointe, par exemple des puces sur mesure destinées au secteur de la technologie de l'information et des communications, pour pouvoir maximiser la diffusion de ces composants dans l'ensemble de l'industrie nationale[10].

Le problème de la compétitivité canadienne dans le domaine des circuits intégrés de pointe se découpe en trois aspects bien distincts. Le premier concerne l'acquisition et le maintien des moyens de conception des circuits. Pour avoir de tels moyens, il faut avoir accès aux derniers perfectionnements de la conception assistée par ordinateur (CAO), de la fabrication assistée par ordinateur (FAO) et de l'équipement d'ingénierie de logiciel assistée par ordinateur. Il est indispensable d'avoir l'équipement et les logiciels les plus modernes et de faire en sorte qu'un grand nombre d'établissements d'enseignement, de recherche et de services techniques en ont à leur disposition. Qui plus est, il faudrait s'attacher davantage à inculquer des compétences de conception aux ingénieurs et au personnel technique. Les pouvoirs publics et l'industrie doivent s'engager, à long terme, à appuyer et à

développer ce groupe critique de compétences au Canada.

Le second aspect concerne la fabrication des circuits. Bien que plusieurs entreprises canadiennes offrent des services de conception et de fabrication de circuits sur mesure, la fabrication se fait à l'étranger; on s'expose alors à des délais de livraison arbitrairement longs et à des efforts de désossage de la part de concurrents. Une des questions-clés qui se posent au Canada concerne l'importance stratégique, pour l'industrie canadienne de l'électronique, d'un fabricant canadien de puces "commerciales", c'est-à-dire d'une entreprise qui puisse fabriquer des puces sur mesure pour ses clients. Il faut examiner les possibilités d'établir une telle entreprise. Qui plus est, il faut se garantir un accès sans contraintes à des installations de fabrication étrangères.

Troisièmement, les fabricants canadiens doivent apprendre à concevoir des circuits. La plupart des entreprises qui n'ont aucune expérience de la conception des circuits hésitent à se doter de leurs propres moyens de conception, mais cela les empêche de profiter des énormes débouchés qu'ouvrent les nouvelles techniques de conception. Il faudrait faire davantage pour aider les fabricants canadiens à surmonter les obstacles qui les empêchent d'adopter les techniques avancées de conception des circuits.

Dans le contexte de ces considérations, le Conseil des sciences du Canada recommande :

6. *Que l'on charge un groupe de travail, où seraient représentés le gouvernement, l'industrie et l'université, de recommander comment garantir :*

   - *que le Canada devienne et demeure très compétent dans la conception des circuits intégrés et trouve des moyens d'assurer le développement, l'acquisition et l'emploi de la CFAO ainsi que d'autres types appropriés de matériel et de logiciel,*
   - *que le Canada examine comment assurer l'accès à des installations modernes de production de microélectronique et détermine comment garantir l'accès à une variété d'installations de production,*
   - *que l'on aborde la question de la fabrication de puces commerciales au Canada, que l'on définisse clairement la nature et la portée du problème et que l'on dégage les solutions possibles,*
   - *que l'on cerne et élimine les obstacles qui empêchent les fabricants canadiens d'adopter des techniques de conception de la microélectronique et de tirer parti des perspectives qu'ouvrent ces nouvelles techniques de conception.*

   Ce groupe de travail comprendrait des représentants d'Industrie, Sciences et Technologie Canada et d'autres organismes du gouvernement s'intéressant à la microélectronique, d'associations professionnelles canadiennes comme l'Association canadienne de technologie de pointe, l'Association des manufacturiers d'équipement électrique et électronique du Canada, l'Association canadienne de la technologie de l'information et l'Association canadienne de dessin semiconducteur, et d'universités et d'organismes d'enseignement comme la Canadian Microelectronics Corporation.

Projets nationaux

Dans de nombreux pays, les technologies-clés ont été stimulées par de grands programmes nationaux dans le domaine de l'aérospatiale ou de la défense, qui avivent la demande de moyens technologiques avancés. Dans d'autres cas, les intéressés collaborent à des recherches préconcurrentielles dans le cadre d'un projet ou d'un consortium. Le Canada doit trouver l'équivalent de ces éléments qui, dans d'autres pays, animent les efforts de R-D.

Au Canada, un grand nombre de participants préconisent la mise en place de moyens technologiques d'envergure mondiale dans quelques domaines très spécialisés, à l'aide d'un effort national concerté de la part des pouvoirs publics, de l'entreprise et de l'université. Un tel effort pourrait prendre la forme d'un "projet national" dans quelques domaines de la technologie civile. Il faudrait que les domaines en question correspondent aux ressources et aux moyens du Canada et offrent au Canada une chance raisonnable de se trouver des avantages comparatifs. À titre d'exemple, l'emploi de la

biotechnologie dans la lutte contre la pollution et l'élimination des déchets est un domaine potentiellement lucratif qui permettrait l'établissement d'une industrie de l'environnement avec le concours du gouvernement pour ce qui est de la mise au point de la technologie. Dans une déclaration connexe[11], le Conseil des sciences a recommandé le lancement de grands projets pour stimuler de tels développements. Dans la présente déclaration, le Conseil des sciences du Canada recommande :

7. *Que l'on charge un groupe de travail représentant les principales associations d'entreprises industrielles et les principales universités du Canada de proposer à Industrie, Sciences et Technologie Canada un cadre de référence pour le lancement d'un petit nombre de projets nationaux dans le domaine des technologies-clés. De telles mesures s'imposent, vu la pauvreté de l'infrastructure canadienne des technologies industrielles innovatrices.*

Financement de la R-D préconcurrentielle et des entreprises technologiques émergentes

Un problème qui se pose continuellement aux entreprises technologiques canadiennes est la difficulté qu'elles ont à se procurer des capitaux. La phase de la mise au point préconcurrentielle est une barrière pour les petites entreprises technologiques. De nombreux observateurs du secteur canadien de la biotechnologie ont signalé, par exemple, qu'il n'y avait pas assez d'investisseurs disposés à offrir le capital-risque nécessaire pour faire la soudure entre le moment où une entreprise finit ses recherches sur une technologie prometteuse ou se la fait transférer et le moment où elle peut commercialiser les procédés ou les produits qui en découlent. Le stade de la mise au point précommerciale exige souvent un agrandissement d'échelle coûteux et la démonstration de la faisabilité technique d'un projet à des niveaux de production se rapprochant du niveau commercial. Le Comité consultatif national sur la biotechnologie a recommandé qu'on remédie à cette situation en lançant un programme visant à fournir le capital de lancement nécessaire; d'autres organisations ont fait de semblables recommandations à propos d'autres industries. Le programme d'ISTC annoncé récemment (octobre 1989), qui encouragera la formation d'alliances pour l'application de la technologie, devrait contribuer à résoudre le problème de la mise au point préconcurrentielle au Canada.

Le secteur canadien du capital-risque connaît un grand essor depuis quelques années, grâce à la clarification des règles fiscales touchant les sociétés limitées et l'investissement dans des valeurs étrangères. Ces nouvelles règles donnent aux financiers spécialisés dans le capital-risque un bien plus grand accès aux gros investisseurs institutionnels et aux caisses de retraite. Malheureusement, les institutions hésitent à investir dans le lancement d'entreprises à caractère technologique. Que ce soit du point de vue du nombre des investissements ou des sommes investies, les investissements dans la technologie ont baissé au Canada entre 1985 et 1986. Qui plus est, les investisseurs ont boudé les jeunes entreprises pour se tourner vers les entreprises bien établies. Dans l'ensemble, le secteur canadien du capital-risque est moins disposé que le secteur américain à investir dans des entreprises à caractère technologique[12]. Par ailleurs, comme l'a clairement montré le récent atelier du Conseil des sciences sur le financement de l'innovation scientifique et technologique dans l'industrie, il est pratiquement impossible aux nouvelles entreprises technologiques du Canada de se procurer le capital nécessaire[13].

Le Conseil du premier ministre (de l'Ontario) a formulé, à propos de la disponibilité du capital-risque, un certain nombre d'observations et de recommandations qu'il est bon de répéter ici. Ce conseil recommande, entre autres, que le gouvernement cherche à rendre le capital-risque plus accessible aux jeunes entreprises. Il pourrait, à cette fin, offrir des exonérations fiscales à ceux qui investissent dans certaines catégories de caisses de capital-risque de démarrage, dont une partie serait réservée à des investissements sous forme de capitaux de lancement. Ces caisses ne seraient disponibles qu'aux entreprises qui s'engagent à garder une grande partie de leurs moyens de production et de R-D ainsi que leur siège social en Ontario. Le

Conseil a également recommandé des stimulants fiscaux différentiels spéciaux pour les investisseurs dans des entreprises naissantes désignées. Enfin, le Conseil a proposé d'autres mesures possibles pour encourager l'investissement des fonds de pension dans des entreprises naissantes[14].

Le Conseil des sciences du Canada recommande :

8. *Que le ministre fédéral des Finances charge un groupe de travail d'examiner s'il est facile aux entreprises canadiennes à caractère technologique d'obtenir des capitaux de lancement, de mise en route et de développement. Ce groupe de travail doit aussi recommander comment encourager les capitalistes et les gestionnaires d'investissements du Canada à offrir aux petites entreprises et aux entreprises technologiques en pleine croissance le capital-risque nécessaire. Une importante mesure consisterait à restructurer les abris fiscaux de façon à rendre relativement plus intéressant l'investissement dans les entreprises technologiques spéculatives.*

LES TECHNOLOGIES-CLÉS ET L'ENSEIGNEMENT AU CANADA

L'enseignement et la formation jouent un rôle crucial dans la diffusion, à l'ensemble de la population, de la vaste gamme de compétences nécessaires à la fabrication et à l'utilisation des produits technologiques. Pour encourager les sujets doués à faire carrière dans les sciences ou la technologie, il faut dispenser le meilleur enseignement scientifique et technique possible à *tous* les paliers du système d'enseignement.

L'enseignement supérieur et la recherche fondamentale

La vigueur et l'innovation du secteur technologique dépendent, à de nombreux égards, d'un climat vigoureux et stimulant dans les universités et les écoles techniques. Bien que les universités canadiennes aient excellé dans plusieurs domaines de recherche, notamment en biomédecine et en électronique, l'aptitude du Canada à favoriser la croissance de ses industries de haute technologie exigeant de grandes compétences pourrait être fortement limitée par la fragilité de plus en plus grande de la recherche universitaire, fragilité qui aura des effets malencontreux sur le calibre des diplômés.

Le manque chronique de fonds dont souffrent les universités et la recherche universitaire au Canada freine sérieusement l'acquisition de compétences canadiennes dans des domaines critiques des technologies-clés. Dans un sondage auprès de plus de 300 ingénieurs et savants éminents du secteur privé, des universités et du gouvernement, le Conseil des sciences a constaté qu'une majorité estimait que la recherche universitaire était insuffisante dans certains domaines de la technologie de pointe : 54 pour cent dans les technologies de l'information et des communications, 73 pour cent dans la biotechnologie et 70 pour cent dans la technologie des matériaux industriels de pointe[15].

Pour compenser les effets désastreux que l'insuffisance du financement des universités pourrait avoir sur les sciences au Canada, il ne suffit pas de financer sélectivement quelques domaines de recherche technologique appliquée. Il existe des liens étroits entre les technologies-clés et les sciences fondamentales. La biotechnologie dérive de la biologie moléculaire, de la biologie cellulaire, de l'enzymologie, de l'immunologie, de la virologie, de la chimie organique, de la biochimie, de l'informatique, du génie chimique et d'autres sciences fondamentales. La recherche en optoélectronique repose sur la chimie des surfaces, l'électro-technique et la physique. La recherche sur les semi-conducteurs fait appel à l'électro-technique, aux sciences des surfaces, à la physique du solide, à la métallurgie, à l'informatique, à l'instrumentation, à la chimie du plasma, à la dynamique des fluides, aux sciences du vide et aux sciences des matériaux. Les technologies de l'information sont ancrées dans la physique, la recherche opérationnelle, l'électro-technique, les mathématiques, l'informatique, la linguistique, la psychologie et l'optique. Les sciences des matériaux descendent du génie mécanique et chimique, de l'électro-technique, de la physique, des sciences des surfaces, de la chimie, de l'informatique, de la métallurgie, de la thermodynamique et de la chimie des polymères.

En outre, les technologies-clés ne constituent pas des domaines complets de connaissances qu'il est facile de circonscrire et de reproduire. Au contraire, elles sont reliées à l'évolution rapide de la recherche scientifique qui touche une grande variété de disciplines et que stimulent des techniques perfectionnées de mesure, d'analyse et de contrôle. Dans de nombreux cas, elles exigent des instruments micro-électroniques perfectionnés.

On ne saurait greffer un petit nombre d'efforts de recherche de grand prestige et bien financés sur la souche anémique que forment actuellement les milieux scientifiques. Il faut assurer un financement généreux, stable et constant aux groupes de chercheurs universitaires du Canada qui oeuvrent à la fine pointe des sciences qui contribuent aux technologies-clés.

Les derniers sondages du Conseil des sciences indiquent que rares sont les observateurs informés à penser que la

recherche universitaire doit avoir des retombées technologiques directes. De plus, contrairement à la croyance populaire, les entreprises de haute technologie ne sont pas toujours désireuses de voir les universités se lancer dans la recherche appliquée. Ce qu'on attend surtout des universités, c'est qu'elles forment des diplômés compétents et ajoutent à l'acquis scientifique où pourront puiser les entreprises industrielles. Offrir une aide technique spécifique aux entreprises est une fonction importante, mais accessoire, des universités. Pour assurer, dans des domaines scientifiques et techniques en évolution rapide, l'un quelconque de ces trois services, c'est-à-dire former des diplômés très compétents, constituer une base de connaissances scientifiques et offrir un soutien technique, les universités doivent maintenir un niveau concurrentiel de recherche et d'enseignement. On ne saurait espérer que les universités connaissent bien les marchés ou puissent rivaliser avec les entreprises dans les recherches sectorielles.

Le Canada n'investit pas assez dans la recherche universitaire fondamentale dans les domaines stratégiques des technologies-clés. Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNGC) a un Programme de subventions thématiques, qui est, pour le Canada, le principal instrument de financement de la recherche universitaire. En 1986-1987, la priorité a été donnée à la biotechnologie, aux communications et à l'informatique, à l'énergie, à la toxicologie du milieu, à l'alimentation et à l'agriculture, aux matériaux et procédés industriels, et aux océans. Au cours de l'exercice en question, le CRSNGC a accordé 531 subventions thématiques dont les budgets totalisaient quelque 32 millions de dollars.

Les sommes relativement modestes investies par le CRSNGC dans la recherche universitaire thématique (désignée) ont permis d'augmenter de 30 à 40 pour cent les recherches menées dans ces domaines. Toutefois, une récente étude du Programme des subventions thématiques a constaté qu'une très faible proportion des demandes de subventions étaient acceptées : 33 pour cent seulement[16]. Qui plus est, le Programme des subventions thématiques n'a eu que des effets mineurs sur la disponibilité et la qualité de l'équipement ou sur le nombre d'étudiants diplômés qui poursuivent des études dans les domaines stratégiques. De nos jours, seuls les chercheurs universitaires bien établis peuvent compter recevoir régulièrement des crédits de recherche. L'insuffisance du financement de la recherche au Canada est la principale raison qui pousse les jeunes chercheurs universitaires oeuvrant dans le domaine des technologies-clés à quitter le pays.

Pour financer comme il le faut ne serait-ce qu'un petit nombre de domaines de recherche relativement bien définis dans chacun des trois groupes de technologies-clés, il faudrait utiliser une part importante des crédits que le CRSNGC répartit entre tous les domaines des sciences naturelles et du génie. Les estimations dressées pour le Conseil des sciences indiquent qu'une stratégie visant à développer la recherche universitaire concurrentielle dans quatre domaines seulement de chaque groupe des technologies-clés pourrait coûter jusqu'à concurrence de 120 millions de dollars par an[17]. Cette somme représente plus de quatre fois les crédits que le CRSNGC alloue actuellement à la recherche jugée d'importance stratégique. Un atelier organisé par le Conseil des sciences en janvier 1988 et visant à aider le CRSNGC à orienter son Programme des subventions thématiques a confirmé qu'une augmentation aussi substantielle du financement des recherches universitaires dans les domaines des technologies-clés s'impose au Canada[18].

Sur la foi des résultats de cet atelier, le Conseil des sciences a fait la recommandation suivante au gouvernement fédéral et la répète ici :

9. *Il faut, d'ici à 1992, porter à 120 millions de dollars par an les crédits accordés à la recherche universitaire dans le domaine des technologies-clés, au titre du Programme des subventions thématiques du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, crédits qui se chiffrent actuellement à 32 millions de dollars par an. De plus, les provinces et le gouvernement fédéral doivent fournir aux universités les fonds supplémentaires dont elles ont besoin pour financer leurs étudiants diplômés et acheter le matériel nécessaire.*

L'enseignement scientifique et technique dans les écoles primaires et secondaires

Une assise de recherches universitaires plus solide donnera un nombre accru de diplômés en sciences et en génie mieux qualifiés qui s'intégreront à la main-d'oeuvre ou qui poursuivront des études plus avancées. Il faut assurer un excellent enseignement scientifique et technique dans les écoles primaires et secondaires, car c'est alors qu'on inspire aux jeunes la passion ou le dégoût des sciences. L'absence d'une "culture scientifique" au Canada est en grande partie due au déclin de l'enseignement scientifique et technique dans notre pays[19]. En fin de compte, ce sont les commissions scolaires et les autorités provinciales qui sont responsables de la qualité et du prestige de l'enseignement scientifique et technique au Canada.

* * *

La présente déclaration aborde une variété de questions touchant les technologies-clés au Canada :

La stratégie nationale du Canada visant les technologies-clés est-elle satisfaisante? Malgré les progrès qu'il semble avoir réalisés ces dernières années, le Canada ne paraît pas avoir de stratégie nationale vigoureuse ni avoir pris d'engagement important à l'égard des technologies-clés. Notre pays doit se fixer des buts bien précis, définis en étroite collaboration avec les intéressés, et faire des efforts bien plus vigoureux pour les atteindre.

Comment établir les priorités régionales? Le Canada n'a pas les ressources voulues pour chercher à devenir concurrentiel dans tous les domaines des technologies-clés. La concentration et la concertation des efforts s'imposent donc. La poursuite d'efforts de planification stratégique régionale dans un cadre national marque un pas dans la bonne direction. Toutefois, pour continuer sur cette lancée, il faudra prodiguer des efforts plus vigoureux et sur une plus grande échelle.

Que doit faire le Canada pour mettre en place une meilleure infrastructure de soutien pour la mise au point et la diffusion des technologies-clés? Le Conseil des sciences recommande que cette infrastructure soit renforcée à l'aide de mesures sur plusieurs fronts : l'autodéveloppement de l'industrie pour l'adoption des technologies représentant les pratiques optimales; de meilleures installations de conception et de fabrication de circuits intégrés sur mesure; de grands projets civils pour stimuler le développement des technologies-clés; et la modification du régime fiscal pour garantir aux entreprises à caractère technologique un financement suffisant au stade du lancement.

Le Canada investit-il suffisamment pour développer la base de connaissances sur laquelle doivent reposer les compétences dans le domaine des technologies-clés? Il existe généralement des liens très étroits entre les technologies-clés et les sciences. Le Conseil des sciences craint que le développement de la base de connaissances des universités canadiennes ne soit ralenti par l'insuffisance des ressources consacrées à l'enseignement et à la recherche dans les disciplines qui font progresser le côté scientifique des technologies-clés. Le Conseil des sciences du Canada préconise une augmentation substantielle et immédiate des crédits consacrés à l'enseignement et à la recherche universitaires, notamment dans ces disciplines.

NOTES

1. Voir Conseil des sciences du Canada, *Pour réussir dans une économie mondiale — L'interaction universités-entreprises et le renouveau économique du Canada*, Rapport n° 39 (Ottawa : Approvisionnements et Services Canada, 1988); Conseil des sciences du Canada, *Vers les marchés mondiaux : La gageure de l'autodéveloppement industriel* (Ottawa, 1988); et Conseil des sciences du Canada, *Les sciences, la technologie et un développement durable : gages de santé écologique* (Ottawa, 1988).

2. Industrie, Sciences et Technologie Canada regroupera l'ancien ministère de l'Expansion industrielle régionale et l'ancien département d'État chargé des Sciences et de la Technologie.

3. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), *La politique d'innovation : Provinces de l'ouest du Canada* (Paris, 1988), 49-50.

4. R. Hayter, *La technologie dans l'industrie forestière canadienne : les orientations à prendre*, Conseil des sciences du Canada, Étude de documentation n° 54 (Ottawa : Approvisionnements et Services Canada, 1988), 116.

5. *The Information Technology Industry in British Columbia. A Report from the Information Technology Sector Planning Committee of the Science Council of British Columbia* (Burnaby : Science Council of British Columbia, 1988), chapitres 6 et 7.

6. Conseil de la science et de la technologie, *Bilan de l'activité scientifique et technologique de la région de Québec* (Sainte-Foy, Québec, 1988), chapitre 4.

7. Conseil canadien CAO/FAO pour l'avancement de la fabrication intégrée par ordinateur, *Crise au sein de la gestion : Mise en oeuvre de la fabrication intégrée par ordinateur* (Ottawa : ministère de l'Expansion industrielle régionale, 1986), 2.

8. Dans une déclaration connexe concernant la stratégie visant la technologie industrielle de pointe au Canada, le Conseil des sciences a fait ressortir la nécessité d'améliorer les compétences des chefs d'entreprise canadiens en gestion de la technologie. Voir Conseil des sciences du Canada, *Vers les marchés mondiaux : La gageure de l'autodéveloppement industriel* (Ottawa, 1988), 13-14.

9. I. Litvak, *Canadian Trade Associations and the Promotion and Diffusion of Innovation*, ministère de l'Expansion industrielle régionale (MEIR), Rapport de recherche n° 100, Programme des études sur les innovations technologiques (Ottawa : MEIR, 1985), 58-59.

10. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), *Les technologies de l'information et des communications pour le développement économique*, préparé par le Comité de la Politique de l'information, de l'informatique et des communications de l'OCDE (Paris, 1987), 8.

11. Conseil des sciences du Canada, *Vers les marchés mondiaux : La gageure de l'autodéveloppement industriel* (Ottawa, 1988), 18-19.

12. M. Macdonald, *Le capital-risque au Canada : Vue d'ensemble* (Ottawa : Investissement Canada, 1987), 23.

13. L'atelier du Conseil des sciences "Pour combler les manques : le financement de l'innovation scientifique et technologique dans l'industrie canadienne" s'est tenu à Toronto, les 24 et 25 novembre 1988.

14. Conseil du Premier ministre (de l'Ontario), *Competing in the New Global Economy* (Toronto : Imprimeur de la Reine, 1988), 183-185.

15. C. Davis, *Enabling technologies in Canada: status and issues*, rapport inédit préparé pour le Conseil des sciences du Canada, 1988.

16. The DPA Group, Inc., *Évaluation du Programme de subventions pour dépenses courantes du CRSNG*, rapport provisoire inédit préparé pour le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, 1987, 5-38.

17. Pour des chiffres précis, voir C. Davis, *op. cit.*

18. Voir *Sujets prioritaires pour la recherche devant faire l'objet de subventions thématiques*, rapport inédit préparé pour le Conseil des sciences du Canada, 1988, chapitre 4.

19. Le Conseil des sciences du Canada a abordé certaines de ces questions dans *À l'école des sciences — La jeunesse canadienne face à son avenir*, Rapport n° 36 (Ottawa : Approvisionnements et Services Canada, 1984).

COMITÉ DES TECHNOLOGIES-CLÉS DU CONSEIL DES SCIENCES DU CANADA

Membres du Conseil des sciences
Simon J.S.W. Curry, président
Gerald B. Dyer
Gordon Gow
Jennifer M. Sturgess

Membres de l'extérieur
Albert Friesen
President
ABI Biotechnology Inc.
Winnipeg (Manitoba)

Peter McGeer
Director
Ontario Centre for Materials Research
Kingston, Ontario

Membre et responsable du projet
Charles H. Davis

CONSEIL DES SCIENCES DU CANADA
(D'après la liste établie en septembre)

Présidente
Geraldine A. Kenney-Wallace, LRIC, MSc, PhD, MRSC

Vice-présidente
Vaira Vikis-Freibergs, BA, MA, PhD
Professeure
Département de psychologie
Université de Montréal
Montréal (Québec)

Membres
John Anderson, PhD
Vice-President, Operations
Atlantic Salmon Federation
St. Andrews, New Brunswick

Norman L. Arrison, BSc, MSc, PhD, PEng
Arrison Consultants
Red Deer, Alberta

Morrel P. Bachynski, BEng, MSc, PhD, FAPS, FCASI, FRSC, FIEEE
President
MPB Technologies Inc.
Dorval, Quebec

Richard Bolton, PhD
Directeur général
Centre canadien de fusion magnétique
Institut de recherche d'Hydro-Québec
Varennes (Québec)

Douglas Bennell Craig, BASc, PhD
Teacher and Instructor
F.H. Collins Secondary School and Yukon College
Whitehorse, Yukon

Simon J.S.W. Curry, BA, MA, PhD
Manager
VHDL and High-Level Capture
Bell-Northern Research
Ottawa, Ontario

James Cutt, MA, PhD
Professor
School of Public Administration
University of Victoria
Victoria, British Columbia

Richard M. Dillon, BSc, LLD
Principal
Alafin Consultants Limited
Toronto, Ontario

Gerald B. Dyer, BSc
Director-Research
Du Pont Canada Inc.
Kingston, Ontario

Robert O. Fournier, BSc, MSc, PhD
Associate Vice-President (Research)
Dalhousie University
Halifax, Nova Scotia

J. Barry French, BASc, MSc, PhD, FRSC, FRSA, FCASI
Professor
Institute for Aerospace Studies
University of Toronto
Downsview, Ontario

Merritt A. Gibson, BSc, MSc, PhD
Professor and Head of the Department
Department of Biology
Acadia University
Wolfville, Nova Scotia

J.C. (Clay) Gilson, BSA, MSc, PhD, FAIC, LLD
Professor
Department of Agricultural Economics
University of Manitoba
Winnipeg, Manitoba

Gordon Gow, BSc
Deputy Minister
Ministry of Industry, Trade and Technology
Toronto, Ontario

Robert G. Guidoin, PhD
Professeur titulaire
Laboratoire de chirurgie expérimentale
Pavillon de Services
Université Laval
Québec (Québec)

Norman B. Keevil, OC, PhD
Chairman of the Board
Teck Corporation
Vancouver, British Columbia

Bernard M. Leduc, MD, DPhil
Vice-président
Affaires médicales
Laboratoires Ayerst
Saint-Laurent (Québec)

Gerald S.H. Lock, BSc, PhD
Professor
Department of Mechanical Engineering
University of Alberta
Edmonton, Alberta

Ian G. MacQuarrie, BSc, MSc, PhD
Professor
Department of Biology
University of Prince Edward Island
Charlottetown, Prince Edward Island

Frank G. Marsh, BSc, BEd, MEd, PhD
President
Eastern Community College
Burin, Newfoundland

Karim Wade Nasser, PhD, PEng
Professor
Department of Civil Engineering
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan

John Roth, MEng
Executive Vice-President
Product Line Management
Northern Telecom Limited
Mississauga, Ontario

Charles R. Scriver, MD, FRSC
Professor of Pediatrics, Genetics and Biology
McGill University
Director
deBelle Laboratory for Biochemical Genetics
The McGill University-Montreal Children's Hospital Research Institute
Montreal, Quebec

Jennifer M. Sturgess, BSc, PhD
Director
Medical and Scientific Affairs
Parke-Davis, Warner-Lambert Canada Inc.
Scarborough, Ontario

Andrew Szonyi, MBA, MASc, PhD, PEng
Chairman
Zarex Management
Toronto, Ontario

John Malcolm Webster, BSc, PhD, ARCS, DIC
Professor
Department of Biological Sciences
Simon Fraser University
Burnaby, British Columbia

Hugh Robert Wynne-Edwards, BSc, MA, PhD, DSc, PEng, FRSC
Vice-President
Research and Development
Chief Scientific Officer
Alcan International Limited
Montreal, Quebec